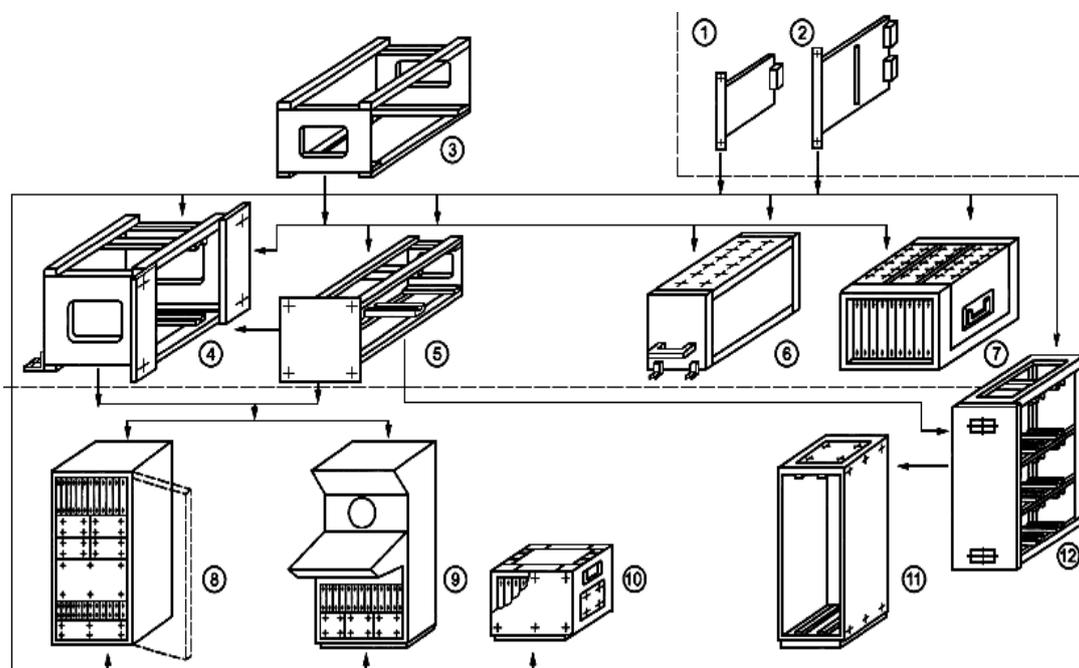


В.Г. Козлов, Ю.П. Кобрин, А.А. Чернышев

# ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

В.Г. Козлов, Ю.П. Кобрин, А.А. Чернышев

# **ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Учебное пособие для студентов  
специальности 210201 – Проектирование и технология  
радиоэлектронных средств

2012

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

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

**Козлов В.Г., Кобрин Ю.П., Чернышев А.А.**

Основы проектирования электронных средств: учебное пособие для студентов специальности 210201 – Проектирование и технология радиоэлектронных средств / Под ред. В.Г. Козлова, А.А.Чернышева. – Томск: Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. – 148 с.: ил.

В пособии отражены все разделы, предусмотренные действующим образовательным стандартом для обучения студентов специальности 210201 – «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» по дисциплине «Основы проектирования электронных средств». Основное внимание уделено общим принципам проектирования, то есть тем особенностям создания электронного средства, которые формируют основные требования к его построению. Для более детального знакомства с вопросами, изложенными в пособии, в нём приведены ссылки на обширный список нормативной и технической литературы.

Пособие предназначено для всех форм и технологий обучения студентов специальности 210201. Рекомендуется как для изучения теоретического материала, так и для выполнения курсовых и дипломных проектов. Может быть использовано для изучения вопросов конструкторского проектирования электронной аппаратуры студентами всех специальностей радиотехнического профиля.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1</b>	<b>Введение.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Структура и классы электронных средств .....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Факторы, определяющие построение электронных средств.....</b>	<b>17</b>
3.1	Факторы окружающей среды.....	17
3.2	Радиационная стойкость электронных средств.....	34
3.3	Системные факторы .....	42
3.3.1	Общие положения.....	42
3.3.2	Основные принципы системного подхода.....	44
3.4	Факторы взаимодействия в системе «человек-машина».....	57
<b>4</b>	<b>Конструкторское проектирование .....</b>	<b>69</b>
4.1	Основные этапы разработки ЭС .....	69
4.1.1	Проведение НИР .....	69
4.1.2	Проведение ОКР .....	69
4.2	Комплектность конструкторской документации .....	74
4.3	Конструкции электронных средств .....	80
4.3.1	Современные и перспективные конструкции электронных средств – ячеек, модулей, блоков, шкафов .....	80
4.3.2	Основы стандартизации. Унификация конструкций .....	94
4.3.3	Конструкционные системы ЭС. Системы базовых несущих конструкций. Системы унифицированных типовых конструкций .....	98
4.3.4	Импортные типовые несущие конструкции, применяемые при проектировании отечественных ЭС.....	114
<b>5</b>	<b>Системные критерии технического уровня и качества изделий.....</b>	<b>122</b>
5.1	Общие положения о качестве, о техническом уровне и о системах менеджмента и обеспечения качества изделий .....	122
5.2	Краткие сведения о классификации показателей качества, о методах оценки уровня качества и о сертификации изделий .....	133
	<b>Литература .....</b>	<b>145</b>

## 1 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]. Под проектированием обычно понимают комплекс работ по изысканиям, исследованию, расчетам, конструированию и оптимизации, имеющих целью получение описания, необходимого и достаточного для создания еще не существующего нового изделия или алгоритма его функционирования, удовлетворяющих заданным требованиям.

Объектом нашего внимания является проектирование всевозможных электронных средств:

- **электронные средства (ЭС)** - это изделия, в которых передача и преобразование информации осуществляется методами электроники - науки об электронных процессах в вакууме, газах, жидких и твёрдых телах, а также на их границах.

- **радиоэлектронное средство (РЭС)** - это изделие и его составные части, в основу функционирования которых положены принципы радиотехники и электроники [22]. Термины радиоэлектронные средства (РЭС) и радиоэлектронная аппаратура (РЭА) являются синонимами.

- **электронно-вычислительные средства (ЭВС)** - это класс ЭС, способных принимать, хранить, перерабатывать и выдавать информацию с помощью вычислительных и логических операций по определённому алгоритму или программе [4].

Электронные средства используют в самых различных областях науки (физики, биологии, химии, математики и др.) и техники (радиотехники, вычислительной техники, автоматики, связи и др.). С помощью ЭС решаются проблемы генерирования, усиления, преобразования, формирования электрических сигналов, выполнения логических операций, получения элементарных частиц с высокой энергией и многие другие проблемы науки и техники [1].

Многие ЭС являются изделиями, используемыми в быту и в делопроизводстве (радиотелефоны, сотовые телефоны, компьютеры, сканеры, телевизионные приёмники и др.) или являются составными частями таких изделий (встроенные электронные коммутаторы, микропроцессорные устройства

управления и др.). Основу для создания современных ЭС составляют полупроводниковая электроника и микроэлектроника.

В процессе проектирования 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.

Современные методы проектирования ЭС должны обеспечивать:

- снижение стоимости, энергоемкости;
- уменьшение массы и габаритов;
- всемерное расширение использования микроэлектронных элементов;
- увеличение степени интеграции, микроминиатюризацию межэлементных соединений и элементов несущих конструкций;
- обеспечения нормальных режимов работы (защита от влаги, тепловых, механических, радиационных, биологических, электромагнитных воздействий);
- дружественные интерфейсы пользователя и разрабатываемых ЭС;
- широкое внедрение методов оптимального проектирования;
- высокую технологичность изделий и однородность их структуры;
- максимальное использование в конструкции стандартных и унифицированных элементов.

Наиболее действенным решением большинства поставленных проблем является внедрение высокоэффективных информационных технологий проектирования РЭС на основе применения персональных компьютеров.

Значительную часть комплексной технической документации при проектировании составляет конструкторская документация (КД), которая представляет собой совокупность конструкторских документов, содержащих, в зависимости от назначения, данные, необходимые для разработки, изготовления, контроля, приёмки, поставки, эксплуатации и ремонта изделия.

Конструирование, являющееся важной частью проектирования изделий – это процесс поиска 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. Иными словами, конструирование ЭС – творческий процесс создания новых конструкций ЭС, конечным результатом которого является комплект конструкторских документов для промышленного изготовления изделия. В общем толковании конструкция – это состав и взаимное расположение частей изделия, а также само изделие с таким устройством. Применительно к ЭС, конструкция – это пространственно организованная совокупность компонентов (изделий электронной техники, несущих оснований и материалов), между которыми существуют электрические, оптические, механические, тепловые, магнитные, электромагнитные и другие связи, обеспечивающие заданные преобразования сигналов, при наличии взаимных воздействий и воздействий внешней среды [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.

Задачей изучения дисциплины «Основы проектирования электронных средств» является обучение студента основным методам и средствам инженерного расчета элементов, узлов, блоков и систем ЭС различного назначения.

В результате изучения дисциплины студент должен уметь создавать конструкторские решения, удовлетворяющие конструкторско-технологическим требованиям и готовить на них исходную техническую документацию.

Важнейшими целями освоения дисциплины «Основы проектирования электронных средств» (ОПЭС) являются:

- обеспечение базовой подготовки студентов в области проектирования ЭС, в том числе автоматизированными методами;
- формирование умения вести практическое проектирование блоков и приборов ЭС на современной нормативной, элементной и технологической базе и на основе системных представлений о процессе создания ЭС.

В результате изучения дисциплины студенты должны приобрести представление о тенденциях развития элементной и технологической базы электроники и о тенденциях развития ЭС разного функционального назначения.

Студенты должны знать установленные стандартами понятия, термины, определения и обозначения в области проектирования ЭС, современные САПР ЭС, методы оценки надежности ЭС, методы обеспечения тепловой и электромагнитной совместимости узлов ЭС, структуру и классы ЭС и факторы, определяющие их построение. Они должны знать основные этапы разработки ЭС, комплектность конструкторской документации, современные кон-

струкции и конструкционные системы ЭС, основы стандартизации и унификации конструкций, а также системные критерии технического уровня и качества изделий.

В ходе изучения дисциплины студенты обязаны научиться:

- составлять и анализировать техническое задание (ТЗ) на разработку ЭС и проектировать ЭС в соответствии с требованиями ТЗ;
- осуществлять конструкторско-технологическую разработку ЭС на основе схмотехнического проектирования, соблюдая при проектировании требования нормативных документов и метрологического обеспечения;
- пользоваться САПР ЭС, выполняя расчеты тепловых режимов, механической прочности и т.п. с соблюдением требований устойчивости к внешним факторам.

Студенты должны набрать опыт решения задач, стоящих перед проектировщиком ЭС:

- выполнять инженерные расчеты по основным типам профессиональных задач на основе широкого использования компьютерной техники;
- научиться работать с документацией, технической литературой, патентами и другими информационными источниками;
- уметь грамотно составлять проектную документацию, научно-технические отчеты;
- уметь принимать оптимальные решения, удовлетворяющие техническим требованиям к параметрам ЭС;
- уметь применять **конструктивно-технологический метод создания изделия** (совокупность правил, определяющих последовательность и содержание действий для установления конструктивных характеристик и выполнения технологических операций при создании изделия [22]).

В данной книге затронуты, в основном, общие принципы проектирования электронных средств (ЭС). Для более детального знакомства с излагаемыми вопросами в пособии приведены ссылки на обширный список нормативной и технической литературы.

При подготовке издания использован опыт построения и применения в учебном процессе пособия [58]. Разделы 1 и 4.2 написаны Кобриным Ю.П. и Козловым В.Г., разделы 2 и 4.1 – Козловым В.Г. и Чернышевым А.А., а остальные разделы – Козловым В.Г. Вёрстка книги и, частично, техническое редактирование осуществлены Кобриным Ю.П. Редактирование настоящего издания с учетом действующих нормативно-технических документов выполнено Козловым В.Г. и Чернышевым А.А.

## 2 СТРУКТУРА И КЛАССЫ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

Электронные средства можно классифицировать:

**а) по функциональному назначению:**

- радиоэлектронные средства – РЭС;
- электронно-вычислительные средства – ЭВС;

**б) по виду объекта установки:**

- бортовые ЭС;
- морские ЭС;
- наземные ЭС;
- бытовые ЭС;

**в) по функциональному назначению отдельных устройств** (приёмник РЛС, монитор компьютера и т.д.);

**г) по функциональной сложности** (по числу и рангу функций, выполняемых изделием);

**д) по частотному диапазону сигналов:**

- низкочастотные: источник вторичного электропитания непрерывного действия, устройства автоматики и др.);

- высокочастотные: видеоусилители, радиоприёмные устройства, радиопередающие устройства и др.);

**е) по конструктивной сложности<sup>1</sup>**, определяемой числом элементов конструкции и числом соединений между ними, выбранной элементной базой и способом компоновки (ИС, плата, блок, стойка);

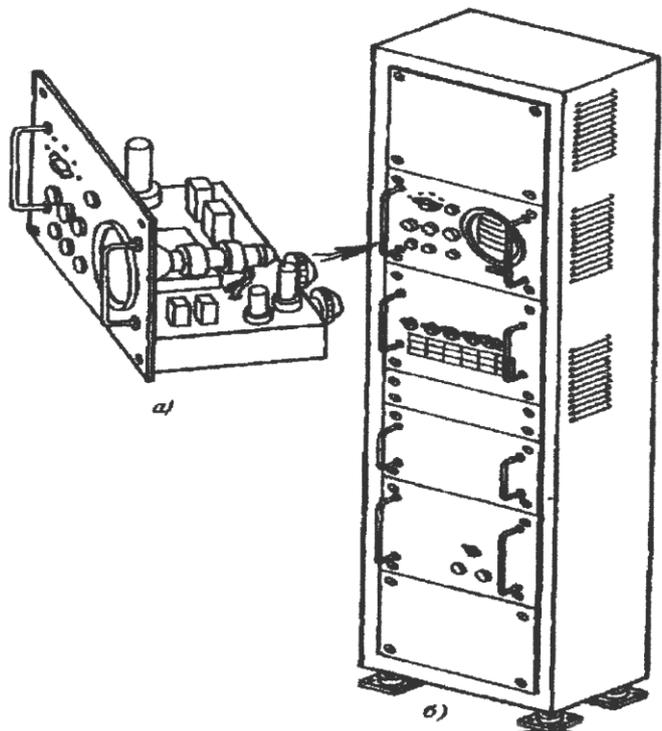
**ж) по элементной базе:**

- ЭС на электронных лампах - I поколение (рисунк 2.1),

- ЭС на дискретных полупроводниковых приборах – II поколение (рисунки 2.2 - 2.4),

- ЭС на корпусированных интегральных схемах (ИС) – III поколение,

- ЭС на больших ИС (БИС) и микросборках (МСБ), использующих бескорпусные ИС – IV



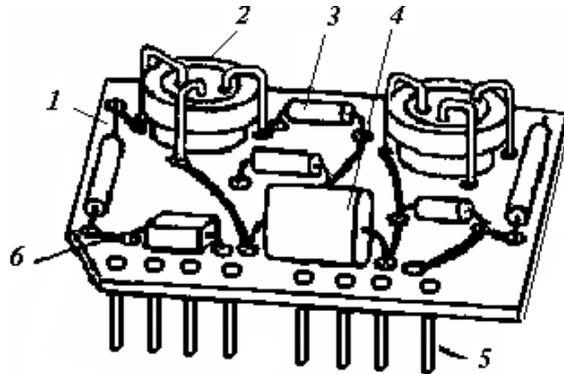
**Рисунок 2.1 - Многоблочная конструкция ЭС I поколения [2]:**

*а* - моноблок; *б* - стойка

<sup>1</sup> Классификация по конструктивной сложности рассмотрена в разделе 4.

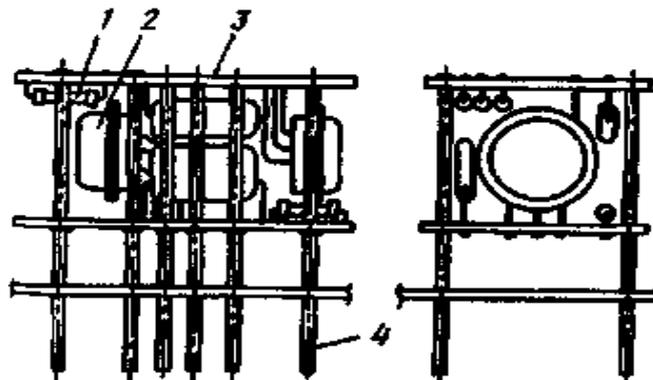
поколение;

- ЭС на приборах функциональной микроэлектроники и на сверх-больших ИС (СБИС), выполненных по принципам монтажа на поверхность и интеграции на целой пластине, можно отнести к V поколению<sup>2</sup>.



**Рисунок 2.2 – Конструкция унифицированного функционального узла II поколения «Элемент-2» [2]:**

1 - печатная плата; 2 - транзистор; 3 - резистор; 4 - конденсатор; 5 - проволочный вывод; 6 - печатный проводник



**Рисунок 2.3 - Конструкция этажерочного микромодуля [2]:**

1- резистор; 2 - транзистор; 3 - печатная плата; 4 - проволочный вывод

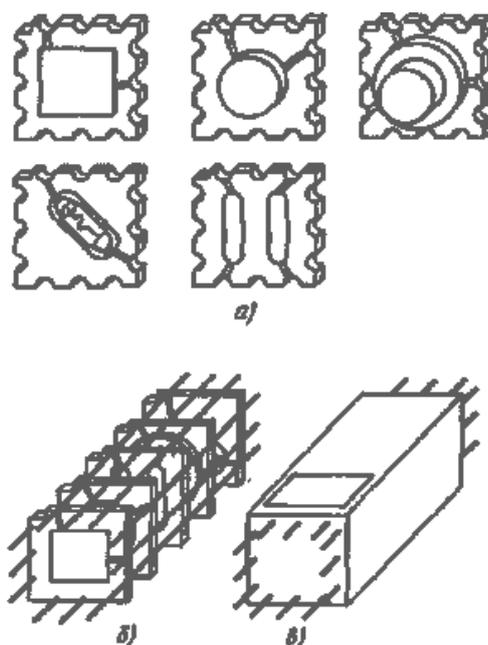
### з) по типу производства:

- единичное;
- серийное;
- массовое.

Аппаратуру, выполненную на ИС, БИС и СБИС называют **микроэлектронной аппаратурой (МЭА)**.

Классификация по функциональному назначению системы и по виду объекта установки наиболее важна при проектировании ЭС, так как она в решающей степени определяет специфику конструкции: защиту от внешних воздействий, массогабаритные показатели, форму, используемую элементную базу, энергопотребление, надёжность и стоимость [2, 3].

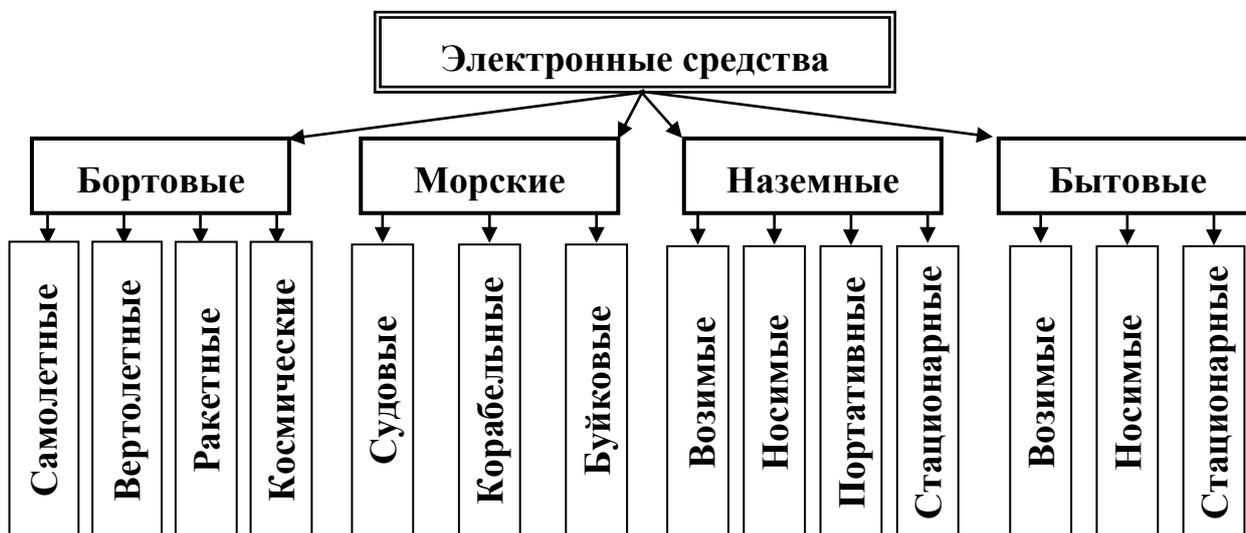
<sup>2</sup> Конструкции ЭС II, III и IV поколений рассмотрены нами в разделе 4.3.



**Рисунок 2.4 - Конструкция объемного модуля [2]:**

*а* - микроэлементы; *б* - микромодуль после пайки; *в* - микромодуль после заливки

Каждая из категорий электронных средств, в зависимости от объекта установки, делится на группы (рисунок 2.5).

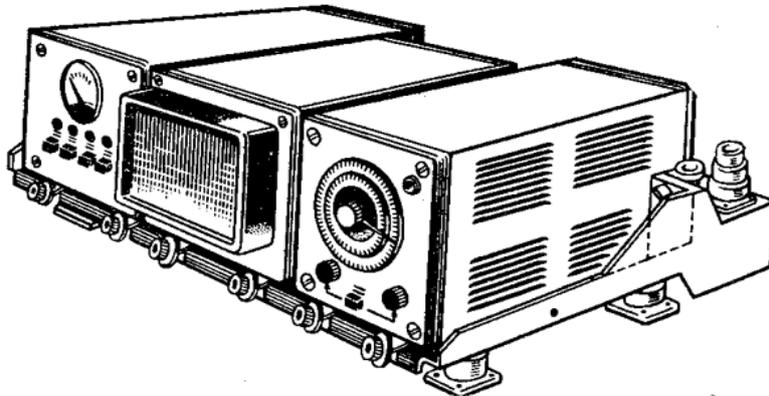


**Рисунок 2.5 - Классификация ЭС по виду объекта установки**

**Бортовые ЭС** устанавливаются на летательных аппаратах (ЛА). Самолетные и вертолетные РЭС характеризуются относительно кратковременным непрерывным временем работы (как правило, несколько часов). Все остальное время РЭС находится под контролем и обслуживанием.

Конструкция таких ЭС должна обеспечивать свободный доступ к внутренним частям изделия. ЭС, устанавливаемое на самолетах и вертолетах, выполняется обычно в виде блоков, которые имеют законченное кон-

структивное оформление с элементами быстросъемного механического крепления. Как правило, бортовые ЭС монтируются либо на групповой раме, либо на стеллажах, снабженных амортизаторами (рисунк 2.6).



**Рисунок 2.6 - Размещение бортового ЭС на ЛА [10]**

Разъемы и распределительные коробки для межблочного монтажа находятся на тыльной стороне блоков.

В основном блоки бортовых ЭС конструируются прямоугольной формы, за исключением тех, которые устанавливаются в специальных отсеках (хвостовое оперение, концы крыльев).

В **космических и ракетных ЭС**, помимо общих требований к бортовой аппаратуре, предъявляют ряд особых требований, связанных с высокой безотказностью работы:

- высокая ремонтпригодность в предстартовый период;
- большая ударная и вибрационная нагрузка и линейные ускорения;
- термоудары и невесомость;
- особые ограничения по объему и массе.

Несущие рамы, на которых устанавливаются космические и ракетные ЭС, бывают плоскими и объемными. Сама рама крепится к носителю болтами. Для надежности используют двойное резервирование, термостатирование, хранение в специальных контейнерах с нейтральным газом и т.д.

**Морские ЭС** устанавливаются на речных судах, кораблях, подводных лодках и надводных и подводных буях.

Конструктивное исполнение такой аппаратуры определяется классом корабля, местом ее установки (снаружи, внутри). Для малых кораблей (катера, суда на подводных крыльях и т.п.) по своему исполнению аппаратура напоминает самолетную, но отличается наличием уплотняющего кожуха высокой прочности.

Эти морские ЭС должны выдерживать вибрации, линейные ускорения, ударную нагрузку, ботовую и килевую качку, высокую влажность. Все это требует создание конструкций, имеющих высокую и надежную виброизоляцию, удароустойчивость, термоизоляцию, водо- и брызгозащищенность.

На крупных судах для размещения ЭС обычно предусматриваются специальные помещения с мощной вентиляцией и температурой, поддерживаемой в пределах  $t = 18^{\circ} \dots 23^{\circ}\text{C}$ . Расположение и крепление аппаратуры должно обеспечивать легкий и быстрый доступ для обслуживания и ремонта, исключать перемещение при крене, дифференте, ускорении и т.п.

Конструкции ЭС больших судов во многом похожи на земные стационарные ЭС и отличаются от них устройствами влаго- и брызгозащитности, высоким уровнем типизации, блочно-разборными конструкциями РЭС небольших размеров (из-за ограниченности размеров люков корабля), защищенностью от сильных ВЧ (электромагнитных), НЧ (гидроакустических) помех. Такая аппаратура конструируется в виде шкафов (стоек).

**Буйковые ЭС** служат навигационным и другим целям и характеризуются:

- особой продолжительностью необслуживаемой эксплуатации;
- работой в морской воде в плавающем и подводном состоянии;
- воздействием сильных ударов (волнение моря и при установке буя);
- высокой прочностью, герметичностью и коррозионной стойкостью.

**Наземные ЭС** – наиболее широкий и разнообразный класс ЭС. Они делятся на стационарные, возимые, носимые и портативные.

**Стационарные ЭС** устанавливаются в отапливаемых наземных и подземных помещениях, на открытом воздухе или в неотапливаемых наземных и подземных сооружениях.

**Возимые ЭС** устанавливаются на транспортных средствах, в кузовах и кабинах автомашин, на железнодорожном транспорте, танках и т.д. Аппаратура должна работать в условиях высокой запыленности, влаги, вибраций и динамических перегрузок.

В возимых ЭС применяют следующие принципы конструктивных построений (блочно-шкафное и ячеечно-шкафное):

- блочный, с размещением блоков в шкафах;
- автономное размещение блоков в различных местах корпуса или кузова транспортного средства.

**Носимые и портативные ЭС** обычно переносятся человеком или транспортируются на животных или иных транспортных средствах.

Термины и определения уровней разукрупнения **радиоэлектронных средств (РЭС)** регламентированы ГОСТ Р 52003-2003 [22].

**Деление ЭС по функциональной сложности** может быть представлено в виде следующей иерархической цепочки (уровни сверху вниз):

*система ЭС → комплекс ЭС → электронное устройство (ЭУ) →  
→ электронный функциональный узел (ФУ)*

**Радиоэлектронная система** это РЭС, представляющее собой функционально законченную совокупность **радиоэлектронных комплексов и устройств**, обладающее свойством перестроения своей структуры для ра-

ционального решения тактических и/или технических задач при изменении условий эксплуатации.

В состав радиоэлектронной системы могут входить механические, электромеханические и другие средства, без которых невозможна эксплуатация этой радиоэлектронной системы. В зависимости от сложности решаемых задач радиоэлектронная система может быть автономной частью другой радиоэлектронной системы или совокупности систем.

С позиций системного подхода система ЭС представляет собой «совокупность сигналов в пространстве, операторов и электронной аппаратуры, размещенных на объектах в определенных точках на поверхности или в пространстве, действующих в условиях помех и внешних возмущений». Например, такой системой является автоматизированная радиоэлектронная система управления воздушным движением. В ней осуществляется функциональное взаимодействие наземного радиолокационного комплекса, вычислительного комплекса и бортового радиоэлектронного комплекса. Эта системой осуществляется перестроение структуры в зависимости от интенсивности воздушного движения.

**Радиоэлектронный комплекс (РЭК)** это РЭС, представляющее собой функционально законченную совокупность радиоэлектронных устройств, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, выполненное с использованием интерфейсов и обладающее свойством перестроения своей структуры для сохранения работоспособности при решении тактических и/или технических задач в различных условиях эксплуатации. В состав РЭК могут входить механические, гидравлические, электромеханические и другие устройства, без которых невозможна эксплуатация этого РЭК. В зависимости от сложности решаемых задач РЭК может быть автономной частью другого комплекса.

**Комплекс ЭС** – это совокупность ЭУ, объединенных, как правило, на одном объекте и являющихся законченной частью системы; например, наземный и бортовой комплексы радиосвязи самолета с землей. Общие определения **комплекса изделий**, а также **сборочной единицы и комплекта изделий** (согласно ГОСТ 2.101-68) приведены в разделе 4.2 – «Комплектность конструкторской документации». Примером комплекса ЭС является вычислительный комплекс. Он содержит две или более ЭВМ с собственными устройствами ввода-вывода, коммутаторами. Информационный обмен между ЭВМ осуществляется через дополнительное устройство, позволяющее осуществить перестроение структуры комплекса. Например, при выводе из строя одной ЭВМ функцию неисправной ЭВМ берет на себя другая ЭВМ, при этом сохраняется работоспособность комплекса при некотором снижении производительности либо ограничении круга решаемых задач.

**Радиоэлектронное устройство (РЭУ)** это РЭС, представляющее собой совокупность функционально и конструктивно законченных сборочных единиц и используемое для решения технической задачи в соответствии с его назначением. В зависимости от сложности технической задачи РЭУ может

быть составной частью другого радиоэлектронного устройства. В состав РЭУ могут входить механические, гидравлические, электромеханические и другие устройства, без которых невозможна эксплуатация этого радиоэлектронного устройства. РЭУ реализует функции передачи, приема и преобразования информации.

**Электронное устройство (ЭУ)** - это часть комплекса, решающая конкретную основную целевую функцию, функционально и конструктивно законченная и, главное, автономно эксплуатируемая. Примером РЭУ является курсовой радиомаяк. Он содержит совокупность функционально законченных сборочных единиц: антенного устройства; передающего устройства. Он может быть реализован **в модульном исполнении** (в виде модуля любого уровня) или **в немодульном исполнении** (в виде шкафа или блока). Его основная функция передача информации. Он может быть использован самостоятельно или в составе РЭК (РЭ системы).

**Радиоэлектронный (электронный) функциональный узел РЭФУ (ЭФУ)** – это РЭС (ЭС), представляющее собой функционально и конструктивно законченную сборочную единицу, выполняющее радиотехническую и/или электронную функцию и не имеющее самостоятельного применения. Примером ЭФУ является модулятор, осуществляющий преобразование амплитуды, частоты или сигналов в соответствии с изменениями параметров модулирующего сигнала. Он может быть реализован **в модульном исполнении** (в виде модуля любого уровня) или **в немодульном исполнении** (в виде шкафа, блока или ячейки). Однако его нельзя использовать самостоятельно, он используется только в составе РЭУ.

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

*шкаф → блок → ячейка.*

**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), выполненно-

го 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. Определения по этому ГОСТу **элемента, устройства и функциональной группы** приведены в разделе 3.3 – «Системные факторы».

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.

**Магистрально-модульное исполнение РЭС (или ЭС)** это конструктивно-технологический метод создания РЭС (или ЭС) в модульном исполнении с использованием рациональной структуры соединения и коммутации его составных частей, обеспечивающий взаимозаменяемость РЭС (или ЭС) и их составных частей, а также техническую совместимость в соответствии с заданными требованиями к их разработке.

**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 ремонтпригодности [3]. **Размерный модуль** – это трехмерное ком-

поновочное 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) [22]:

*модули третьего уровня → модули второго уровня →  
→ модули первого уровня → модули нулевого уровня*

**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 4.3.2.

### 3 ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

#### 3.1 Факторы окружающей среды

Требования, предъявляемые к ЭС, в значительной степени определяются условиями их эксплуатации. Условия же эксплуатации, как показано в разделе 2, резко отличаются у ЭС с разным функциональным назначением и видом объекта установки. По классификации, приведённой в [2], **условия эксплуатации ЭС** можно разделить на *нормальные, наземные естественные, наземные транспортные* и условия на *высотных самолетах, ракетах, космических объектах*. Под **нормальными условиями** работы ЭС понимают такие, при которых температура воздуха 15...25° С, относительная влажность 45...75%, атмосферное давление 96...106 кПа, отсутствуют механические воздействия, воздействия пыли и песка, атмосферных осадков, солнечной и ядерной радиации, биологических факторов и др. [2, 16].

**Условия эксплуатации** характеризуют субъективными факторами, зависящими от квалификации обслуживающего персонала, и объективными факторами, не зависящими от обслуживающего персонала. **Эксплуатационные объективные факторы** подразделяют на внутренние и внешние. К **внутренним эксплуатационным объективным факторам** относят деградиционные процессы в ЭС, связанные с их старением и износом. Процессы старения протекают непрерывно, как во время работы, так и во время хранения ЭС. Износ имеет место, в основном, во время работы и сильно зависит от режима работы и от внешних факторов.

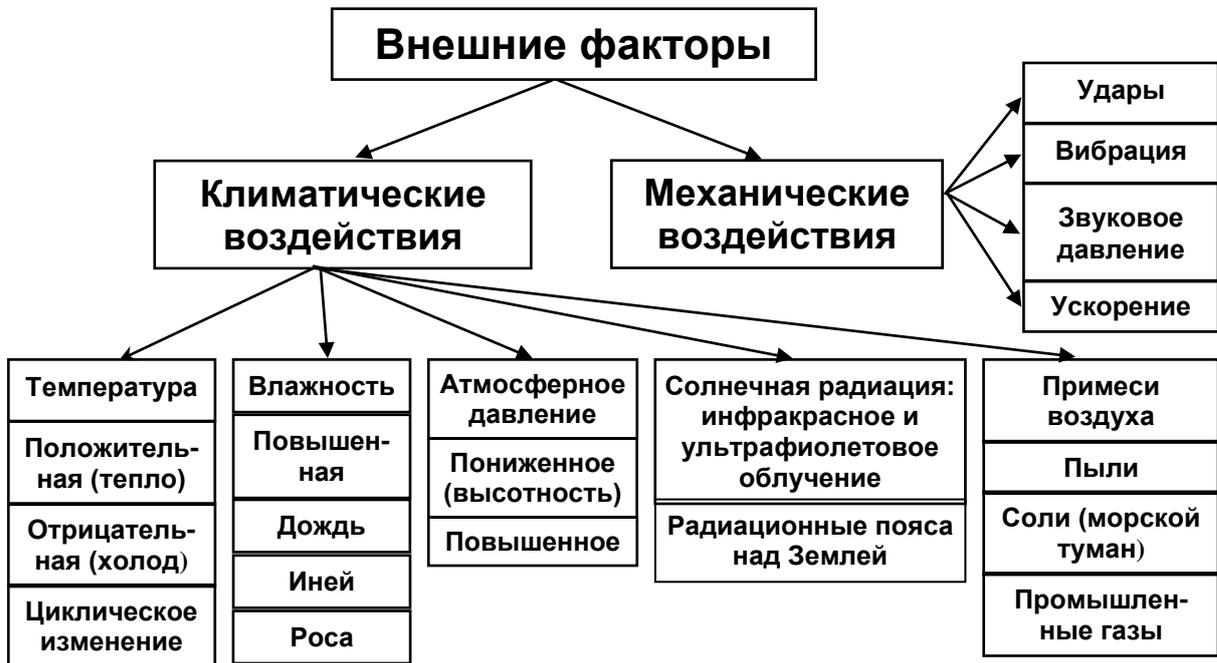
Классификация основных **внешних эксплуатационных объективных факторов**, влияющих на работу ЭС и называемых **факторами окружающей среды**, приведена на *рисунке 3.1*. Как видно из этого рисунка основными внешними факторами являются: климатические воздействия, радиационные воздействия и механические воздействия.

Согласно ГОСТ 26883-86 «Внешние воздействующие факторы. Термины и определения», можно выделить следующие основные группы внешних воздействующих факторов: *механические, климатические, биологические, термические*.

**К климатическим воздействиям** в соответствии с ГОСТ 15150-69 относятся:

- температуру окружающей среды;
- тепловой удар (термоудар);
- влажность окружающей среды;
- атмосферные осадки (дождь, морской туман);
- ветер;
- пыль;

- содержание в воздухе (воде) коррозионно-активных агентов;
- атмосферное давление;
- солнечную радиацию (инфракрасное и ультрафиолетовое облучение).



**Рисунок 3.1- Классификация основных внешних эксплуатационных объективных факторов, влияющих на работу ЭС**

**К механическим воздействиям** относят воздействия ударов, вибрации, звукового давления и ускорения.

**К биологическим факторам** относятся бактерии, плесневые грибки и грызуны.

**К термическим факторам** относятся аэродинамический нагрев, электрическое и ультразвуковое радиационное разогревания. Для космических ЭС следует учитывать воздействие радиационных поясов над Землей.

В процессе эксплуатации могут оказывать влияние и другие факторы, например:

- специальная среда;
- электростатические, магнитостатические и электромагнитные поля;
- лазерное излучение [2, 19, 20].

Из рассмотренных внешних факторов, как правило, наибольшее влияние оказывает температура:

- на свойства материалов и электрорадиоэлементов (ЭРЭ), используемых в конструкции ЭС;
- на качество функционирования ЭС;
- на плотность монтажа ЭРЭ и на их расположение внутри конструкции ЭС;
- на способ охлаждения ЭС и конструкцию теплоотвода.

**Термоудар** является наиболее опасным температурным видом воздействия на РЭС. Характеризуется он резким (до нескольких десятков градусов Цельсия) изменением температуры окружающей ЭА среды в течение весьма непродолжительного (до нескольких минут) интервала времени. Его воздействие имеет, например, место на ЭА, размещаемую вне гермоотсеков самолетов, метеорологических зондов, искусственных спутников Земли и различного рода ракет в период их запусков [4]. Последствием термоудара может быть нарушение целостности ЭС и его частей, например, отрыв выводов ЭРЭ и соединительных проводов от мест паяк, разгерметизация корпусов, особенно в местах контактов металл-стекло, металл-диэлектрик и т.п.

Температура механических узлов и ЭРЭ, используемых в конструкции ЭС зависит главным образом от температуры окружающей среды и от тепловых мощностей, рассеиваемых с поверхностей ЭРЭ и электронного средства в целом.

**Предельные температуры**, зафиксированные у поверхности Земли, составляют  $-87^{\circ}\text{C}$  в Антарктиде и  $+60^{\circ}\text{C}$  в Средней Азии. При изменении высоты от 0 до 100 км температура окружающей среды может меняться в любую сторону на несколько десятков градусов. Наиболее низким температурам соответствует высоты от 10 до 30 км и от 70 до 90 км, а наиболее высоким – атмосфера вблизи поверхности земли, а также высоты от 50 до 60 км и выше 90 км.

Температура ЭС, расположенных на сверхзвуковых самолетах, может повышаться на несколько десятков градусов за счет нагрева обшивки летящего самолета о набегающий газовый поток. Перегрев элементов и механических узлов ЭС относительно окружающей среды составляет для различных случаев от единиц до десятков градусов. Это связано с низким КПД электронных средств, состоящих из большого количества элементов и устройств. Для большинства случаев КПД меньше 5%; в радиоприемных устройствах он меньше 2%, а в телевизионных устройствах он менее 1%.

Поскольку материалы конструкций ЭС имеют разные коэффициенты линейного расширения, изменение температуры может вызвать:

- заклинивание механизмов в ЭС;
- растрескивание и отслаивание покрытий;
- поломку узлов, элементы которых изготовлены из разных материалов;
- разгерметизацию корпусов и т.п.

**При низких температурах** резко снижается прочность материалов и особенно при ударных нагрузках (это явление называется хладноломкостью). Нежелательное влияние температуры на ЭС увеличивается при большой влажности. Например, различное значение коэффициента линейного расширения металлов и пластмасс приводит к образованию воздушных каналов внутри герметизированных узлов, по которым может проникать влага, обрыву выводов и т.д. У заливочных материалов коэффициент линейного расширения в 4..5 раз выше, чем у сопрягаемых с ними металлов.

**С ростом температуры увеличивается удельное сопротивление металлов.** В частности, у технической меди перегрев в 100°C приводит к увеличению сопротивления примерно на 40%. Все металлы при нагревании расширяются и уменьшают (хотя и незначительно) свою теплопроводность.

При температуре ниже –13°C обычная модификация олова – **белое олово** медленно переходит в **серое олово** («оловянная чума»). В местах появления серого олова металл увеличивается в объёме и разрушается. У применяемых для пайки припоев из смеси олова и свинца склонность к разрушению ниже, но она всё-таки сохраняется. При низких температурах в припой возникают внутренние напряжения, и так как припой плохо работает на растяжение, то возможно разрушение паяных кожухов ЭРЭ, мест пайки проходных изоляторов к корпусу и т.д. [19, 20].

У диэлектриков с **повышением температуры** уменьшаются сопротивление и пробивное напряжение, возрастает тангенс угла потерь и, в большинстве случаев, кроме электролитов, уменьшается диэлектрическая проницаемость.

По-разному ведут себя при повышении температуры пластмассы. Пластмассы, сохраняющие при нагреве свою форму до момента разрушения, называются терморективными. Термопластичные же пластмассы по мере повышения температуры вначале становятся эластичными, затем текучими и лишь затем разлагаются. Наиболее стойкий к воздействию температуры как сверхнизкой, так и высокой является фторопласт, но он сравнительно дорог. Достаточно термостойки стекла и керамика. Их практическое применение ограничивается, главным образом из-за хрупкости и трудности механической обработки. При воздействии высоких и очень низких температур сильно ухудшают свои свойства резины, смазочные материалы и твёрдые диэлектрики органического происхождения – они становятся хрупкими и неэластичными, на них образуются трещины.

Поскольку многие электрические свойства диэлектриков с **понижением температуры** улучшаются, то ограничения применения диэлектриков при низких температурах связаны со **снижением механической прочности на удар**. Наиболее низкая температура, при которой нет заметного ухудшения механической прочности и эластичности диэлектрика, характеризует его морозостойкость. Морозостойкость полихлорвинила и сополимеров хлорвинила находится в пределах (–15...–50)°C, а у полиэтилена –80°C. Для подвижных механизмов ЭС **поломка** этих механизмов может произойти и из-за замерзания смазки.

Величина пробивного напряжения диэлектриков, связанного с тепловым пробоем, убывает с ростом температуры по экспоненциальному закону:

$$U_{\text{пр}} = K \cdot d \cdot \exp\left(-\frac{a \cdot t}{2}\right), \quad (3.1)$$

где  $K$  – постоянная величина, характеризующая свойства данного диэлектрика при определённой частоте подводимого напряжения;  $a$  – температурный коэффициент электропроводности;  $d$  – толщина диэлектрика.

Расчётные формулы для определения  $K$ , выведенные В.А. Фоком, приведены в [19]. Величина температурного коэффициента магнитной проницаемости  $\mu$  магнитодиэлектриков (0.01..0.04) %/°С.

**С повышением температуры** полупроводниковые материалы значительно увеличивают свою проводимость. Чем меньше ширина запрещённой зоны полупроводника, тем ниже допустимая рабочая температура для приборов на его основе. Германиевые приборы работают при температурах ниже 85...100°С, а кремниевые ниже 120...150°С.

На все ЭРЭ наиболее сильное влияние оказывает температура. Она влияет на характеристики **полупроводниковых приборов** с  $p$ - $n$ -переходами. При повышении температуры возрастает собственная проводимость полупроводников. Вклад в общую проводимость примесной проводимости  $p$ - или  $n$ -типа становится относительно небольшим. Поэтому величина потенциального барьера  $p$ - $n$ -перехода уменьшается, сопротивления перехода в прямом и обратном направлении уменьшаются и становятся сравнимыми по величине, коэффициент выпрямления – уменьшается, возрастает прямой и обратный токи и возможен тепловой пробой. Обратное напряжение, при котором возникает лавинный пробой с повышением температуры, как правило, уменьшается. В транзисторах при высоких температурах сильно возрастает коллекторный ток, мощность, рассеиваемая коллектором, становится выше допустимой, наступает тепловой пробой. При низких температурах сильно уменьшается как собственная, так и примесная проводимость полупроводников, что приводит, как правило, к восстанавливаемым отказам полупроводниковых приборов.

Изменение под действием температуры свойств материалов, из которых состоят ЭРЭ, приводит к изменению характеристик их элементов. **У конденсаторов** с возрастанием температуры увеличивается тангенс диэлектрических потерь, уменьшаются пробивное напряжение, изменяется величина емкости. При отрицательных температурах плохо работают электролитические конденсаторы, некоторые виды аккумуляторов и кабелей, сухие гальванические элементы, а загустевание смазок приводит к увеличению пусковых моментов электродвигателей и сельсинов. При отрицательных температурах может произойти прекращение самовозбуждения кварцевых генераторов.

Углеродистые резисторы при повышении температуры уменьшают своё сопротивление, а композиционные и проволочные увеличивают. Моточные изделия изменяют свою индуктивность и добротность в основном за счет изменения магнитной проницаемости сердечника, геометрических размеров катушки, из-за изменения активного сопротивления обмоток.

**Повышение температуры** для большинства элементов приводит к **увеличению интенсивности отказов**. При повышении температуры с 20 до 60°С интенсивность отказов возрастает: у электронно-вакуумных приборов в

1.5...2 раза, у резисторов в 2...3 раза, у полу проводниковых приборов в 3...4 раза, у конденсаторов в 6...8 раз, у микросхем в 6...10 раз [15]. Ориентировочно при отсутствии резервирования, интенсивность отказов ЭС оценивается как сумма интенсивностей отказов его элементов. Поэтому при повышении температуры в указанных пределах резко возрастает интенсивность отказов ЭС в целом. Изменение значений выходных параметров элементов под действием температуры приводит к изменению выходных параметров ЭС.

При работе ЭС, как правило, исключено непосредственное попадание воды на элементы конструкции. На аппаратуру воздействует **влажность**, то есть растворенные в воздухе невидимые пары воды. Различают абсолютную и относительную влажности. **Абсолютная влажность** ( $C$ ) может быть определена как масса водяных паров ( $g$ ), растворенных в единице объёма воздуха ( $m^3$ ), или как объёмная концентрация водяных паров в воздухе. Максимально возможная абсолютная влажность, при которой происходит конденсация водяного пара, называется **критической абсолютной влажностью** ( $C_{KP}$ ). Критическая абсолютная влажность зависит от температуры воздуха и его давления. С увеличением давления воздуха критическая абсолютная влажность уменьшается, а с увеличением температуры  $C_{KP}$  увеличивается. Абсолютную влажность воздуха можно численно оценивать и по парциальному давлению водяных паров ( $P$ ), называемому упругостью водяных паров. Мерой абсолютной влажности является также точка росы, то есть температура, при которой выпадает роса, для данного значения абсолютной влажности воздуха. Отношение абсолютной влажности воздуха ( $C$ ) при данной температуре к критической абсолютной влажности ( $C_{KP}$ ) при той же температуре выраженное в процентах, называется **относительной влажностью воздуха** ( $\phi$ ). Аналогично определяется  $\phi$  и через значения упругостей водяных паров ( $P$  и  $P_{KP}$ ).

$$\phi(\%) = \frac{C}{C_{KP}} \cdot 100 = \frac{P}{P_{KP}} \cdot 100. \quad (3.2)$$

Нормальной относительной влажностью считают  $\phi = (45...80)\%$  (при температуре  $t < 30^\circ C$ , а при  $t \geq 30^\circ C$   $\phi = (45...70)\%$ ). Среднее значение абсолютной влажности у поверхности Земли составляет  $0.1 \text{ г/м}^3$  в полярных районах и до  $30 \text{ г/м}^3$  в экваториальных, а относительная влажность меняется от 20 до 100%. С увеличением высоты как абсолютная, так и относительная влажность уменьшаются. На высоте 15 км относительная влажность  $\phi = 2\%$ , абсолютная влажность близка к нулю. При изменении температуры и влажности воздуха или температуры ЭС может оказаться, что поверхность ЭС будет иметь температуру ниже, чем точка росы окружающего воздуха. В этом случае на поверхности ЭС выпадает роса, а при отрицательных температурах – иней.

Неблагоприятное влияние на работу ЭС оказывает **туман**, представляющий собой капельки воды размером  $10^{-3}...10^{-2}$  мм, которые из-за малой массы по отношению к их сравнительно большой поверхности висят в возду-

хе, несмотря на его малую вязкость. Наиболее неблагоприятно **воздействие влаги** при частых переходах температуры через  $0^{\circ}\text{C}$ , а также при высоких температурах. При понижении температуры ниже  $0^{\circ}\text{C}$  пары в микротрещинах, расположенных на поверхности изделий, замерзают и при этом расширяют микротрещины. При высоких температурах велика **влажёмкость воздуха**, а, следовательно, велика абсолютная влажность воздуха даже при нормальной относительной влажности. Велико также число молекул воды, взаимодействующих с поверхностью изделий. Кроме того, с повышением температуры увеличивается химическая активность воды и растворенных в ней примесей. Следует учитывать и то, что при высоких значениях температуры и относительной влажности на поверхности ЭС не исключено появление плесени. Химически активные вещества, выделяемые при росте плесневых грибов, разрушают поверхность ЭС.

Кратко рассмотрим **механизмы влагопоглощения**. Поглощение влаги объемом вещества принято называть **абсорбцией**, а поглощение поверхностью – **адсорбцией**. Одновременное поглощение влаги объемом и поверхностью называется **сорбцией**. **Десорбцией** называют обратное процессу сорбции отделение от поверхности ранее поглощенных ею паров. При физической адсорбции пары воды сохраняют свои индивидуальные свойства, а при химической (**хемисорбция**) образуют химическое соединение с адсорбентом. Для конструкции ЭС, работающей в среде с повышенной влажностью, следует выбирать материалы с малой степенью гигроскопичности. **Степень гигроскопичности  $\Gamma$**  равна процентному увеличению веса для единицы веса  $G_2$  сухого материала при долговременном пребывании в условиях 97...100% относительной влажности ( $G_1 - G_2$  - увеличение веса материала при его увлажнении):

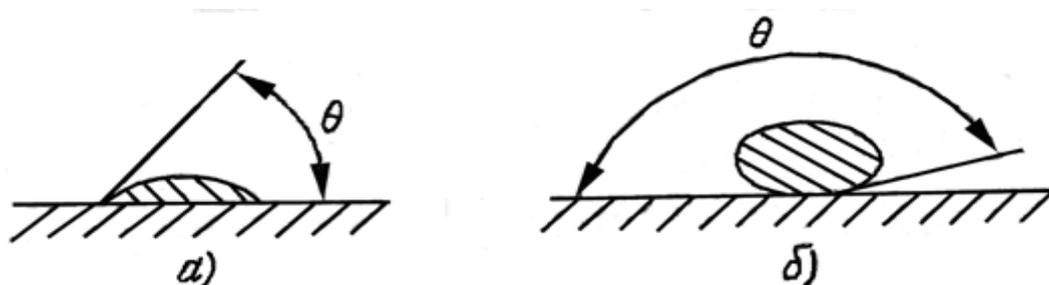
$$\Gamma = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \cdot 100, [\%]. \quad (3.3)$$

Для конструкции ЭС, работающей в воде или в среде с содержащей воду (дождь, роса, иней), следует выбирать материалы с малой водопоглощаемостью. **Водопоглощаемость  $B$**  равна процентному увеличению веса для единицы веса  $G_2$  сухого материала при его долговременном пребывании в воде ( $G_1 - G_2$  - увеличение веса материала при его пребывании в воде):

$$B = \frac{G_1 - G_2}{G_2} \cdot 100, [\%]. \quad (3.4)$$

Материалы, имеющие нейтральное строение молекул (например, парафин), не притягивают воды, а материалы с полярным строением молекул (например, ионные диэлектрики-стёкла) притягивают. Водопоглощаемость бумаг доходит до 60%, а у нейтральных диэлектриков находится в пределах 0...0.05% [19, 20]. Велики значения степени гигроскопичности водопоглощаемости у сложных пластмасс, использующих волокнистые материалы (гетинакс, текстолит, стелоткани и др.).

Способность поверхности материалов смачиваться водой зависит от **краевого угла смачивания**  $\theta$  (рисунок.3.2). Гидрофильные материалы, то есть материалы, поверхность которых смачивается водой, имеют малый угол смачивания. Гидрофобные материалы, то есть материалы, поверхность которых не смачивается водой, имеют большой угол смачивания.



**Рисунок 3.2 - Краевые углы смачивания:**

*a* - гидрофильная (смачиваемая) поверхность; *б* - гидрофобная (несмачиваемая) поверхность

Влажность меняет многие свойства поверхности металлов: прочность, электропроводность, теплопроводность, степень черноты, степень шероховатости и т.п. Наибольший вред народному хозяйству наносит коррозия. **Коррозия** – это разрушение металла с поверхности под действием влажности воздуха (атмосферная коррозия), морской воды, под действием химически активных веществ в почве, в химической промышленности и т.п. Скорость проникновения атмосферной коррозии вглубь металлов различна. Для свинца она равна 4 мкм/год, для алюминия – 8 мкм/год, для олова и меди – 12 мкм/год, для никеля – 32 мкм/год, для цинка – 50 мкм/год, а для железа – 200 мкм/год. Приведенные данные показывают, что наиболее подвержено коррозии железо. Не случайно у нас в стране на каждую тонну выплавленных черных металлов выпускается приблизительно 20 кг красок для защиты их от коррозии. Несмотря на принимаемые меры, потери стали от коррозии чрезвычайно велики и составляют около трети её годового производства.

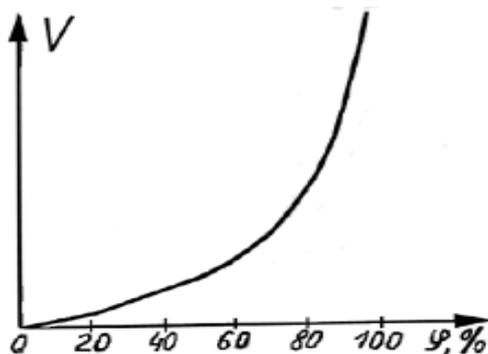
Сплавы металлов более сильно подвержены коррозии, чем чистые металлы. Скорость атмосферной коррозии возрастает:

- при увеличении влажности,
- при увеличении температуры,
- при увеличении шероховатости поверхности,
- при увеличении засоренности атмосферы активными газами и частицами.

Типичная зависимость скорости атмосферной коррозии  $V$  от относительной влажности воздуха  $\phi$  (%) изображена на *рисунке 3.3*.

В результате коррозии ухудшается декоративный вид поверхностей, зеркальные поверхности теряют отражательную способность, разъемные соединения трудно разъединяются. При коррозии может происходить разгерметизация герметичных металлических корпусов, из-за уменьшения поверх-

ностной электрической проводимости. При коррозии увеличивается переходное сопротивление контактов реле, переключателей и других коммутирующих элементов, снижается добротность катушек индуктивности. При всех случаях коррозии происходит переход корродирующего металла в более стабильное первоначальное состояние, из которого он был получен с затратой большого количества энергии. Первоначальным состоянием чаще всего являются окислы, сульфиды, карбонаты.



**Рисунок 3.3 - Типичная зависимость скорости атмосферной коррозии  $V$  от относительной влажности воздуха  $\varphi$  (%) [14]**

Очень большой вред при эксплуатации ЭС, особенно морской, наносит **контактная (электрохимическая) коррозия**. Она возникает при близком контакте металлов с различными контактными потенциалами. При контактной коррозии согласно закону Нернста *разрушается металл с более отрицательным потенциалом*.

В конструкциях допускается гальванический контакт металлов и сплавов, если они имеют *близкие по величине значения контактных потенциалов*. Например, допускаются контакты медных сплавов, серебра, золота, платины, хрома и никеля, в любых сочетаниях. В то же время **недопустимы** контакты медных сплавов с нелегированными сталями, с алюминиевыми, магниевыми и цинковыми сплавами. Для самих же алюминиевых, магниевых, цинковых сплавов и нелегированных сталей гальванические контакты допускаются в любых сочетаниях. Соприкасающиеся детали из металлов, образующих недопустимые контактные пары, изолируют друг от друга прокладками, эмалями или лаками. Металлические покрытия подразделяют на анодные, когда контактный потенциал покрытия меньше потенциала защищаемого металла, катодные, когда наименьшим потенциалом обладает защищаемый металл. Анодные покрытия защищают металл механически и электрохимически, а катодные только механически.

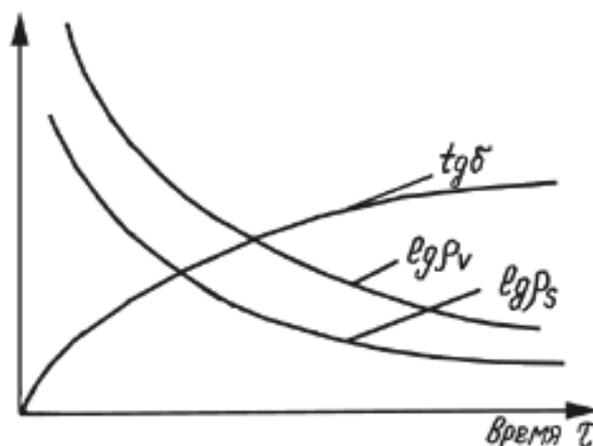
Своеобразным видом электрохимической коррозии является коррозия металлов в почве. Скорость такой коррозии зависит от состава и влажности почвы. Химическая коррозия возникает в агрессивных средах, не проводящих электрического тока, например в воздухе, при взаимодействии со многими органическими веществами (смазочными маслами, бензином и т.д.).

Рассмотрим влияние влаги на свойства диэлектриков. Уже при относительной влажности 30% на поверхности диэлектриков адсорбируется мономолекулярный слой влаги, который с увеличением влажности переходит в полимолекулярный. Полярные диэлектрики, как указывалось ранее, являются гидрофильными и имеют на своей поверхности сплошную пленку воды (стекло, керамика). Для неполярных сила притяжения молекул воды к поверхности материала меньше силы притяжения молекул друг к другу. Поэтому на поверхностях неполярных и слабо полярных диэлектриков образуются шарообразные скопления воды (парафин, фторопласт, полиэтилен и т.п.). При адсорбции резко снижается удельное поверхностное сопротивление диэлектриков  $\rho_S$ , так как электропроводность воды  $\sigma = 10^8 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$  на несколько порядков выше электропроводности диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость воды ( $\epsilon = 81$ ) и тангенс угла диэлектрических потерь ( $\text{tg } \delta$ ) намного выше, чем у подавляющего большинства диэлектриков. Поэтому увлажнение диэлектриков резко уменьшает их добротность, увеличивает удельную ёмкость, а также снижает пробивную напряженность  $E_{\text{пр}}$ .

При абсорбции, в дополнение к изменению перечисленных выше свойств диэлектриков, резко уменьшается их объемное удельное сопротивление  $\rho_V$ , что приводит к еще большему увеличению  $\text{tg } \delta$  и уменьшению  $E_{\text{пр}}$ .

На *рисунке 3.4* изображены типичные зависимости объемного ( $\rho_V$ ) и поверхностного ( $\rho_S$ ) сопротивлений, а также тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg } \delta$ ) от времени пребывания диэлектрика ( $\tau$ ) в среде с повышенной влажностью воздуха.

**При поглощении влаги** у диэлектриков наряду с ухудшением электрических параметров может увеличиваться объём, то есть происходит **набухание**. При высыхании объём обычно уменьшается, происходит усадка. Процесс набухания может запаздывать по сравнению с процессом увеличения влагосодержания. Материал может уже прекратить поглощать влагу (после момента времени  $\tau_C$ ), а набухание все еще будет продолжаться (до момента времени  $\tau_{\Delta V}$ ) (см. *рисунк 3.5*). Вследствие набухания могут происходить поломки и заклинивание механизмов ЭС, нарушение герметичности корпусов

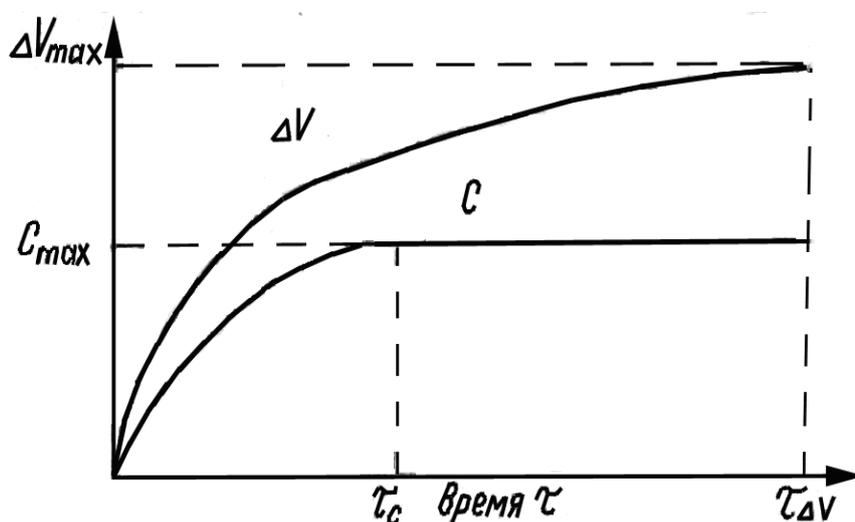


**Рисунок 3.4 - Типичные зависимости объёмного ( $\rho_V$ ) и поверхностного ( $\rho_S$ ) сопротивлений, а также тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg } \delta$ ) от времени пребывания диэлектрика ( $\tau$ ) в среде с повышенной влажностью воздуха [14]**

ЭС и т.п. Особенно склонны к набуханию изделия из терморезистивных пластмасс [14].

Рассмотрим влияние влажности на электрорадиоэлементы и ЭС.

Увеличение потерь и снижение пробивного напряжения в диэлектрике конденсаторов из-за влажности часто приводят к их отказу. Особенно сильно влажность влияет на бумажные, слюдяные, керамические и стеклянные конденсаторы. В бескорпусном варианте критическая влажность для них (30...50)% при температуре 20°C. Углеродистые резисторы увеличивают свое сопротивление с увеличением влажности воздуха за счет набухания органической связки. Они имеют критическую влажность (70...80) % при температуре 20°C. Полупроводниковые приборы имеют критическую влажность 40%, а пьезокерамические преобразователи – 50 % при температуре 20°C. Содержание в воздухе 0.04% паров влаги по объёму вызывает отказ кварцевого стабилизатора частоты [13].



**Рисунок 3.5 - Типичные зависимости набухания ( $\Delta V$ ) и влагосодержания ( $C$ ) от времени ( $\tau$ ) пребывания диэлектрика в среде с повышенной влажностью воздуха [14]**

**Повышенная влажность** снижает сопротивление изоляции у коммутирующих устройств и между проводниками печатных плат функциональных узлов. При коррозии резко повышается контактное сопротивление в коммутирующих устройствах. Повышенная влажность в приемных устройствах приводит к снижению чувствительности, ухудшению избирательности, сужению диапазонов приема, к срыву, генерации гетеродина, что приводит к отказу этих устройств. Другие ЭС отказывают из-за электрического пробоя или из-за неисправностей элементов, вызванных повышенной влажностью. Об отказах ЭС, связанных с коррозией металлов и набуханием диэлектриков подробно говорилось ранее.

В низкочастотных трансформаторах влага, проникая через трещины в заливке, уменьшает сопротивление изоляции и способствует развитию электрохимических процессов между витками, находящимися под разными по-

тенциалами, что способствует возникновению пробоя. В проволочных резисторах наличие влаги приводит к окислению проводов и поверхностей подвижных контактов, что приводит к уменьшению сечения провода, к росту сопротивления и к снижению надёжности контактов.

**Дождь или брызги**, действию которых может подвергаться ЭС, проявляются в основном в полевых условиях эксплуатации наземной транспортируемой аппаратуры и в морской аппаратуре.

Рассмотрим **влияние пыли и песка** на ЭС. Аэрозоли (пыль) представляют собой мельчайшие частицы различного происхождения и разных физико-химических свойств.

Различают пыль неорганического и органического происхождения.

**Неорганическая пыль** составляет 65...75% всех аэрозолей и представляет собой частицы в виде пластинок, иголочек, чешуек с размерами от 0.05 до 0.2 мм. В состав неорганической пыли входят кварц, полевой шпат, слюда и др. Частицы пыли, имеющие острые грани, могут быть абразивными и при наличии ветра разрушать лакокрасочные покрытия, а, попадая в смазочные материалы подвижных устройств, увеличивает окисление смазочных материалов, трение и износ. Пыль текстильного происхождения благоприятствует возникновению бегущего огня в момент переключения в контактных коммутирующих устройствах. Попадая в коммутационные элементы, пыль ускоряет износ контактов, может вызывать образование коронного разряда между контактами и, следовательно, их нагрев.

**Органическая пыль** представляет собой споры растений, плесневые грибки, бактерии, частицы волокна из шерсти и хлопка, мельчайшие остатки насекомых и растений. В городах органические аэрозоли содержат до 40% сажи и смол. При повышенной влажности и температуре органическая пыль может служить хорошей питательной средой для плесени.

Пыль, оседая на поверхности различных деталей и ЭРЭ ЭС, 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 этих элементов, что может вызвать их отказ [19, 20].

Воздух или воду, содержащие коррозионно-активные агенты относят к **агрессивным средам**, то есть к средам, обладающим кислотным, щелочным или окислительным действием и вызывающим ухудшение параметров материалов или изделий, или их разрушение. Наибольший вред ЭС наносят коррозионно-активные агенты, содержащиеся в воде: анионы – сульфаты ( $\text{SO}_4^{--}$ ), гидрокарбонаты ( $\text{HCO}_3^-$ ), хлориды ( $\text{Cl}^-$ ); катионы ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ) и ионы ( $\text{NO}_3^{--}$ ,  $\text{NH}_4^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ). В состав воды также входят соли железа, хлористый натрий,

органические и неорганические частицы, а также растворённые газы воздуха. Наиболее чистая дождевая вода, в одном литре которой растворено при 15°C около 25 мл воздуха. В континентальных осадках преобладают сульфаты и гидрокарбонаты, а в приморских – хлориды. В одном литре дождя содержится 1.5 мл азотистых соединений, в одном литре тумана – 4.4 мг, в одном литре снега – 7.5 мг. В одном литре речной воды содержится от 0.05 до 1.6 г примесей, в зависимости от скорости течения реки, химического состава речного грунта дна и берегов, от промышленных и бытовых загрязнений. В одном литре морской воды растворено от 8 до 39 г растворимых веществ, а в одном литре океанской – от 33 до 39 г, в том числе около 24 г хлористого натрия (поваренной соли).

**Активные вещества** в окружающей ЭС среде проявляются особенно сильно в промышленно развитых городах с тяжелой индустрией. **Озон** в окружающей ЭС среде способствует более интенсивному развитию необратимых процессов старения в металлических, диэлектрических и полупроводниковых материалах. Коррозионно-активные агенты вызывает химические реакции, результатами которых являются физико-химическая коррозия металлов, разрушение покрытий и снижение сопротивления изоляции в конструкциях ЭС [4, 19, 20].

Рассмотрим влияние на РЭС **атмосферного давления**.

Атмосферное давление в зависимости от расположения ЭА относительно уровня моря различно. За его номинальное значение, равное 101.3 кПа, принимается давление, имеющее место на уровне моря. По мере удаления от поверхности Земли атмосферное давление падает и, начиная примерно с 25 км, становится близким к нулю. Заметим, что на поверхности Земли атмосферное давление может изменяться в зависимости от погодных условий. Если предположить состав атмосферы однородным, а температуру постоянной, то величина атмосферного давления  $p$  в зависимости от удаления от поверхности Земли  $h$  определяется по барометрической формуле

$$p = p_0 \cdot \exp\left(-\frac{M \cdot g \cdot h}{R \cdot T}\right), \quad (3.5)$$

где  $p_0$  – давление вблизи поверхности Земли;  $R = 8.32$  Дж/(К·моль) – универсальная газовая постоянная;  $T$  – абсолютная температура;  $M$  – масса грамм молекулы газа;  $g$  – ускорение силы тяжести.

При заданном расстоянии между электродами  $d$  с понижением давления  $p$  (кроме очень малых давлений) пробивное напряжение воздуха уменьшается (рисунки 3.6) из-за того, что увеличивается длина свободного пробега и энергия электронов, вызывающих ионизацию молекул воздуха. Например, величина пробивного напряжения воздуха уменьшается в 4 раза при увеличении высоты с 1000 м до 1600 м над уровнем моря. В области малых давлений вероятность столкновения электронов с молекулами воздуха, вызывающих ионизацию молекул, уменьшается, и пробивное напряжение воздуха увеличивается с понижением давления.

С понижением атмосферного давления увеличивается температура тепловыделяющих элементов, так как ухудшается теплоотдача от нагретых частей ЭС за счёт конвекции, то есть за счёт переноса тепла движущимися воздушными потоками. Тепловая мощность  $P_K(p)$ , отводимая от тепловыделяющего элемента за счёт конвекции при давлении  $p$ , определяется через тепловую мощность  $P_K(p_0)$ , отводимую от этого же элемента за счёт конвекции при нормальном давлении  $p_0$ , из выражения:

$$P_K(p) = P_K(p_0) \cdot \left( \frac{p}{p_0} \right)^{2n}, \quad (3.6)$$

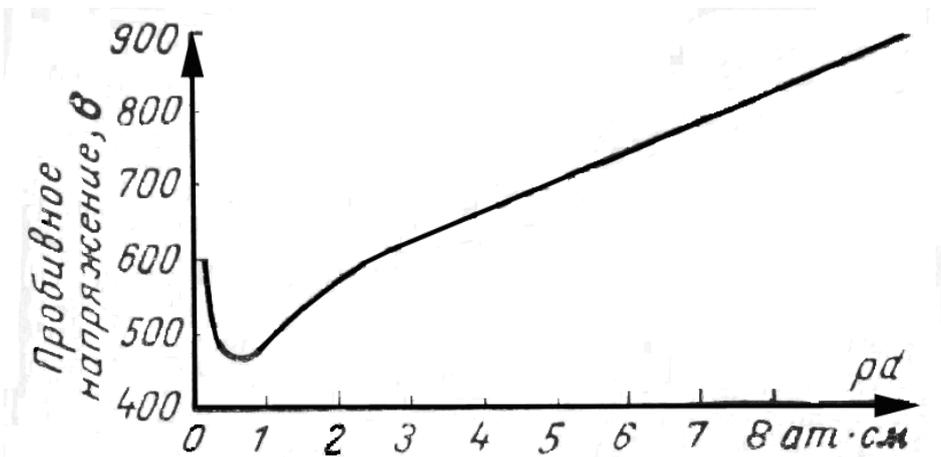
где  $n = \frac{1}{3}$  для турбулентного воздушного потока при конвекции, когда дви-

жущиеся слои воздуха не параллельны между собой, и  $n = \frac{1}{2}$  для остальных

случаев. При низком атмосферном давлении  $p \approx 0$  и  $P_K(p) \approx 0$ . В этом случае тепловая мощность  $P$ , отводимая от тепловыделяющего элемента, определяется из выражения

$$P = P_K(p) + P_L \approx P_L, \quad (3.7)$$

где  $P_L$  - тепловая мощность, отводимая от тепловыделяющего элемента за счёт теплоизлучения и не зависящая от давления. Уменьшение отводимой тепловой мощности  $P$  с понижением атмосферного давления увеличивает температуру тепловыделяющих элементов.



**Рисунок 3.6 - Зависимость пробивного напряжения воздуха от произведения  $p \cdot d$  (атмосфера·см =  $1.013 \cdot 10^3$  кПа·м)**

Если ЭС предназначено для погружения в воду, то оно, помимо действия коррозии, подвергается воздействию повышенного давления воды. В пресной воде при  $15^\circ\text{C}$  избыточное давление увеличивается на  $30.3 \text{ г/см}^2$  на каждые 30 см увеличения глубины, а в морской воде это давление несколько больше. При этом возможна разгерметизация корпуса ЭС под действием по-

вышенного давления и нарушение работоспособности ЭС из-за попадания воды внутрь корпуса.

**Солнечная радиация** представляет излучение электромагнитных волн в диапазоне ( $10^{-8} \dots 10^{-4}$ ) м. Излучение в диапазоне (0.39...0.76) мкм составляет видимую часть спектра, в диапазоне (0.76...100) мкм – инфракрасную часть, а волны длиной меньше 0.39 мкм – ультрафиолетовую часть спектра. На уровне моря (4.5...5)% проникающей интенсивности солнечного излучения представляет ультрафиолетовое излучение, (50...55)% инфракрасное излучение, остальное излучение происходит в видимой части спектра. Наиболее сильно на ЭС действует ультрафиолетовое излучение, которое изменяет цвет и структуру поверхностного слоя материалов (каучука, пластмасс, тканей и др.), а также частично разлагает полимеры, содержащие хлор, например полихлорвинил, и разрушает лакокрасочные покрытия. Подобное же действие, но в меньшей степени, оказывает на материалы и видимое излучение. Кроме того, действие видимого излучения (света) совместно с влагой и ветром приводит к окислению материалов и к ухудшению их физико-химических и электрических свойств. Под действием света и электрических разрядов в воздухе образуется озон, разрушающий каучуки и приводящий к образованию корки на поверхности натуральной резины. Инфракрасное излучение повышает температуру ЭС и способствует старению ряда материалов, например пластмасс. Солнечная радиация ускоряет процесс атмосферной коррозии.

**Биологические воздействия** определяются совокупностью биологических факторов (биофакторов). **Биофакторы** – это организмы или их сообщества, вызывающие отказ ЭС. Такой отказ называют биологическим повреждением (биоповреждением).

**Биоповреждения** бывают четырёх видов [19]:

1) механические разрушения при контакте с ЭС с организмами, сравними по размерам с ЭС в результате прогрызания или уничтожения изделия или столкновения с ним; например, при столкновении птиц с антеннами РЛС, при прогрызании материалов грызунами (мышьями, крысами и др.), а также насекомыми (термитами, муравьями и др.);

2) ухудшение эксплуатационных параметров в результате **биоагрязнения**<sup>3</sup>, **биозасорения**<sup>4</sup> или **биообрастания**<sup>5</sup>;

3) биохимическое разрушение ЭС микроорганизмами, вызванное или биологическим потреблением и (или) химическим воздействием выделяющихся веществ; биологическое потребление связано с разрушением ферментами материала (обычно низкомолекулярного соединения), что вызывает фи-

<sup>3</sup> биоагрязнением называют выделения организмов и продукты их жизнедеятельности (метаболиты), которые в результате смачивания водой или впитывания влаги приводят к ухудшению эксплуатационных параметров

<sup>4</sup> биозасорение связано с наличием спор грибов и бактерий, семян растений, мицелий (тела грибов), помёта птиц, выделением организмов и с отмиранием организмов

<sup>5</sup> биообрастание – это обрастание бактериями, грибами, водорослями, губками и др. организмами поверхностей ЭС, усиливающее коррозию металлов

зико-химическую коррозию металлов, ухудшение теплоотвода и разрушение ЭС под действием эксплуатационных нагрузок; химическое воздействие выделяющихся продуктов обмена стимулирует процессы коррозии;

4) **биокоррозия** – это физико-химическая коррозия на границе материал–организм, обусловленная воздействием амино- и органических кислот<sup>6</sup>, а также продуктов гидролиза<sup>7</sup>.

Большинство биоповреждений (до 80%) обусловлено действием микроорганизмов (бактерий, плесневых грибов и др.). Интенсивность действия микроорганизмов сильно зависит от внешних факторов (влажности, температуры, давления, радиации и т.д.), от химической и от биологической среды. **Бактерии**<sup>8</sup> – самая распространённая группа низших одноклеточных растительных организмов, видимых только под микроскопом, имеющих оболочку, но не имеющих ядра, размножающихся делением. Бактерии вызывают брожение, гниение и т.д.

Наибольшие разрушения ЭС происходят **из-за плесневых грибов**, представляющих собой низшие растения, которые поражают самые разнообразные материалы: пластмассы, краски, лаки, резину, дерево и даже металлы. Наилучшие условия для роста плесневых грибов в тропических условиях, которые характеризуются повышенной относительной влажностью (свыше 85 %), температурой 25..35°C, незначительной подвижностью воздушных потоков, малой освещенностью, сравнительно частыми грозами и туманами. Грибковые образования гигроскопичны и интенсивно поглощают воду, способствуя тем самым увеличению влажности в месте их нахождения. Известно до 40000 разновидностей плесневых грибов. При температурах ниже 7°C и выше 40°C споры плесени не погибают, но перестают расти, аналогичное явление наблюдается при относительной влажности ниже 75 %. Распространение и размножение плесени осуществляется спорами, размеры которых не превышают 10 мкм. За несколько дней небольшое образование плесени даёт несколько миллионов новых спор. Под действием ветра споры перемещаются на большие расстояния. Особенностью роста плесени является создание органических соединений из неорганических без помощи света. Плесень состоит из грибниц-мицелий, представляющих собой разветвления переплетающихся нитей, называемых гифами. Рост грибниц осуществляется последовательным делением клеток. Наиболее подвержены действию плесени органические наполнители и пластификаторы. Слабо противостоят действию плесени фенолоформальдегидные смолы, нитроцеллюлоза, поливинилацетат; очень слабо - древесина и масляные краски. Хорошей питательной средой для плесени является канифоль, которая может оставаться на местах пайки. В процессе питания под действием ферментов (**энзимов**), образующихся в грибах, рас-

---

<sup>6</sup> аминокислоты - это органические кислоты, содержащие группу NH<sub>2</sub>

<sup>7</sup> гидролиз - это химическое взаимодействие вещества с водой, при котором сложное вещество распадается на два или более

<sup>8</sup> от греческого *bacteria* – пал(оч)ка

щепляются и синтезируются соединения питательной среды, на которой находится плесень. При появлении плесени снижается сопротивление изоляции, ускоряется процесс коррозии металлов, разрушаются защитные покрытия, нарушаются контакты, возможны замыкания, пробой и т.п. Устойчивы к действию плесени полиэтилен, фторопласт, полихлорвинил и др. Плесень способна поражать стеклянные детали при наличии на их поверхности питательной среды, а также лакокрасочные покрытия металлических деталей, ускоряя процесс коррозии, за счёт выделения органических кислот: уксусной, лимонной, щавелевой и др.

**Из насекомых**, повреждающих ЭС, наиболее опасны *термиты, красные муравьи и тараканы*. Наиболее быстро размножаются термиты, схожие с муравьями по строению и образу жизни. Их самки откладывают до 3000 яиц в сутки. Термиты живут колониями, содержащими до миллиона особей. Они нападают на ЭС, находящиеся вблизи термитника, съедая органические материалы. Их выделения протравливают материалы и увеличивают их проводимость, что может привести к коротким замыканиям. В России термиты встречаются на Кавказе, а в странах СНГ в Молдавии, Украине и Туркмении. Они водятся также в Австралии, в Африке и в Южной Америке. Тараканы, забираясь внутрь ЭС, повреждают изоляцию и нарушают контакты коммутирующих устройств [19, 20].

Рассмотрим **влияние механических факторов** (вибраций, ударов, звукового давления и ускорения) на ЭС.

**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 ЭС или отдельных её элементов. При этом может произойти разрушение ЭС.

**Удары** возникают при резком изменении ускорения и характеризуются количественно ускорением (от десятков до тысяч  $g$ ) и длительностью (от долей до десятков миллисекунд).

**Звуковое давление** - это вид механического воздействия, возникающего, например, на самолетах и ракетах из-за шума, создаваемого двигателями. Количественно звуковое давление характеризуют величиной давления звука, силой звука и мощностью колебаний источника звука.

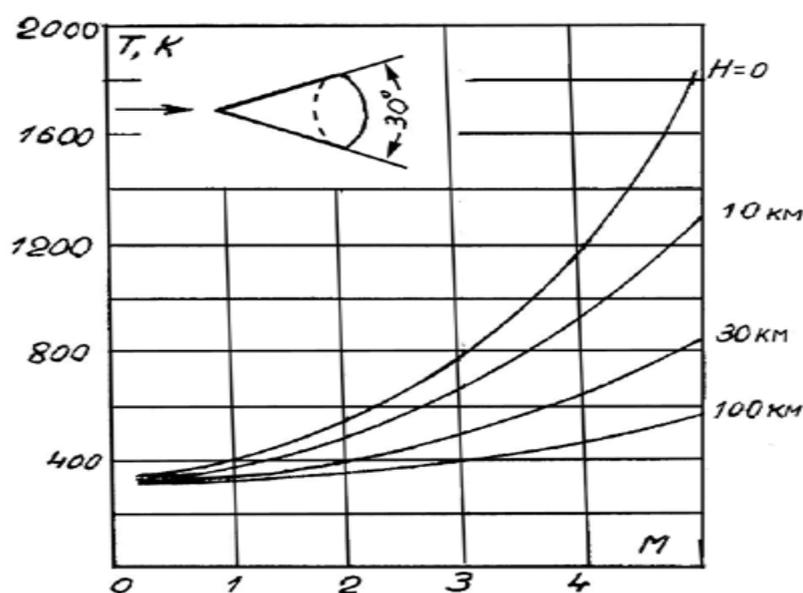
**Линейные ускорения** действуют на ЭС, размещённых на автономных подвижных объектах (самолетах, ракетах и т.п.).

Характер и интенсивность механических воздействий зависят от вида источников воздействия и их расположения относительно конструкций ЭС. Наиболее часто источниками механических воздействий являются: окружающая среда, силовые установки объекта, на котором расположены ЭС, электромеханические устройства с возвратно-поступательно движущимися массами или неуравновешенными вращающимися роторами и т.д. [2, 4, 19].

**Для сверхзвуковых самолётов** температура в отсеках, где могут быть расположены ЭС, определяется не столько температурой среды, сколько

**аэродинамическим нагревом обшивки**, зависящим от скорости набегающего потока, высоты полёта и от угла при вершине конуса в носовой части самолёта (рисунок 3.7).

При проектировании ЭС для космических аппаратов следует учитывать тепловое воздействие **невесомости**. Это воздействие характеризуется отсутствием конвективной составляющей теплоотдачи от тепловыделяющих изделий. Использование для охлаждения принудительной циркуляции газа в условиях орбитального полета практически устраняет эффект воздействия невесомости. Однако если при этом имеются «застойные» зоны, в которых скорость потока газа близка к нулю, то в них эффект невесомости проявляется сильно [2].



**Рисунок 3.7** - Зависимость температуры  $T$  обшивки носовой части самолёта в форме конуса с углом при вершине  $30^\circ$  при аэродинамическом нагреве от высоты полёта  $H$  и скорости набегающего потока, выраженной в числах Маха  $M$  (число Маха  $M$  равно отношению скорости набегающего потока к скорости звука [15])

### 3.2 Радиационная стойкость электронных средств

Рассмотрим влияние **радиоактивных излучений (РИ)** на ЭС.

РИ могут быть разделены на **квантовые** (рентгеновское излучение и гамма-излучение) и **корпускулярные** ( $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы, протонное и нейтронное излучения и др.). Наибольшую опасность для приборов представляют мощные электромагнитные излучения и частицы высоких энергий. Полный спектр электромагнитных излучений охватывает очень широкий диапазон длин волн от десятков тысяч метров до тысячных долей нанометра (рисунок 3.8).

По происхождению радиоактивные излучения (РИ) могут быть разделены на естественные и искусственные.

К **естественным излучениям** относятся галактическое, корпускулярное и рентгеновское излучения Солнца и радиационных поясов Земли.

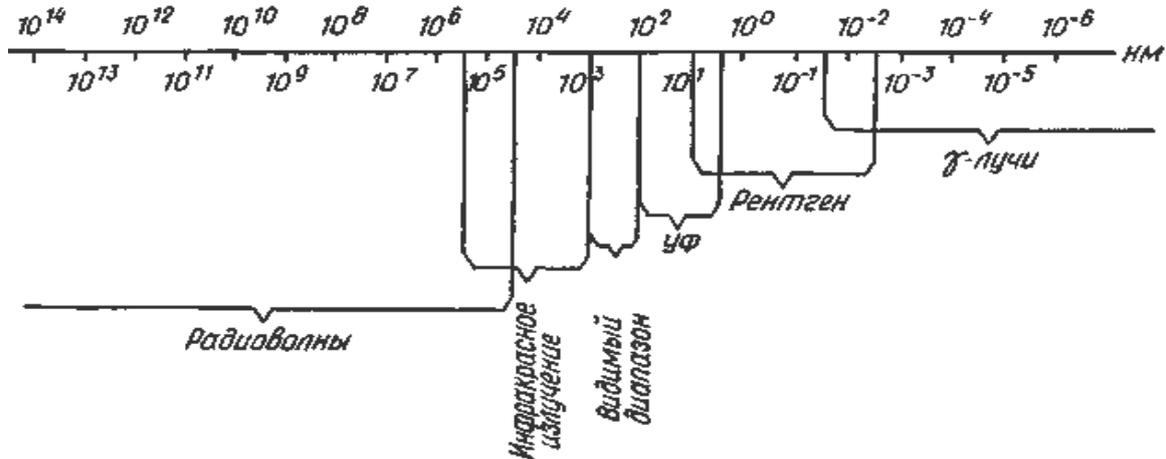


Рисунок 3.8 - Спектр электромагнитных излучений [7]

**Радиационные пояса** – это обширные области над Землёй в виде то-ров, в которых существуют интенсивные потоки электронов и протонов с большой кинетической энергией ( $10^5 \dots 10^8$ ) эВ. Имеется два радиационных пояса, образовавшихся в результате ядерных испытаний: внутренний – на вы-соте (600...10000) км над экватором, и внешний – на высоте (10000...80000) км над экватором. В радиационных поясах действуют ионизирующие излу-чения (ИИ). ИИ – это любые излучения, взаимодействие которых со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков (ГОСТ 15484-74). **Внутренний пояс** состоит в основном из протонов, имеющих энергию порядка 40 МэВ при плотности потока частиц до  $10^4 \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ . При возрастании солнечной активности плотность потоков частиц увеличивается на несколько порядков. **Внешний пояс** состоит в основном из электронов с энергией по-рядка 20... 200 кэВ и характеризуется плотностью потока частиц до  $10^7 \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ .

**Галактическое космическое излучение** состоит в основном из ядер легких химических элементов и протонов с энергией, достигающей 100 МэВ и более. Однако плотность потока частиц галактического излучения очень низка ( $10^{-4} \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ ), вследствие чего воздействием этого источника излучения можно пренебречь.

**Солнечное космическое излучение** состоит в основном из протонов с энергиями от 10 МэВ до 50 ГэВ, имеющих плотность потока частиц от  $10^1$  до  $10^5 \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$ . С периодичностью, равной примерно 10 годам, плотность потока частиц возрастает в десятки и сотни раз в результате солнечных вспышек [7,19, 20].

**Искусственное РИ** возникает в результате ядерных реакций в реакто-рах или при взрыве. Действие РИ ядерного взрыва на приборы сводится,

в основном, к воздействию потока нейтронов и гамма-излучения длительностью порядка 50...100 нс. Энергетические ядерные установки, в основном, также являются источниками нейтронного и гамма-излучения.

**Рентгеновское излучение** – это электромагнитные волны, излучаемые в диапазоне длин волн  $\lambda = 10^{-14} \dots 10^{-7}$  м. Оно возникает, например, при торможении электронов в веществе. **Гамма-излучение** ( $\gamma$ -лучи) – это электромагнитные волны, которые возникают при распаде радиоактивных ядер и имеют длины волн  $\lambda < 10^{-10}$  м.

**$\alpha$ -частицы** представляют собой ядра гелия, имеют двойной положительный заряд (двухпротонная радиоактивность) и возникают при распаде радиоактивных ядер урана, радия и т.д.  **$\beta$ -частицы** – это поток электронов, возникающий при распаде радиоактивных ядер.  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы имеют малые скорости распространения и длины пробега в веществе, но обладают высокой плотностью ионизации вещества, по сравнению с электромагнитными волнами. **Протонное излучение** – это поток ядер самого лёгкого изотопа водорода, получаемый при бомбардировке вещества заряженными частицами, нейтронами и т.д. **Нейтронное излучение** не обладает электрическим зарядом и поэтому имеет высокую проникающую способность. Оно возникает, например, при делении тяжёлых ядер [19, 20].

Источники и уровни радиации описываются **экспозиционной дозой излучения**, измеряемой в кулонах на килограмм (Кл/кг) и представляющей собой количество излучения, создающее посредством ионизации в одном килограмме сухого атмосферного воздуха заряд, равный одному кулону электричества каждого знака.

Для описания интенсивности излучения применяется физическая величина, называемая **мощностью экспозиционной дозы**, представляющая собой приращение экспозиционной дозы в единицу времени. Мощность экспозиционной дозы измеряется в единицах, имеющих размерность ампер на килограмм (А/кг), и равна экспозиционной дозе излучения, передающей сухому атмосферному воздуху дозу излучения в 1 Кл/кг за время 1 с. В ряде случаев для описания экспозиционной дозы применяется внесистемная единица, называемая **Рентген**, равная  $2.58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг, а для описания мощности экспозиционной дозы – Рентген в секунду (Р/с).

**Поглощенная доза излучения** есть энергия любого вида излучения, поглощаемая единицей массы облучаемого вещества. Единицей поглощенной дозы является **Грей**, равный поглощенной дозе излучения, соответствующей энергии 1 Дж излучения любого вида, переданной облученному веществу массой 1 кг. Грей имеет размерность Джоуль на килограмм (Дж/кг).

**Мощность поглощенной дозы** характеризует интенсивность передачи энергии излучения веществу, которая представляет собой физическую величину, определяемую приращением поглощенной дозы за единицу времени. Единицей мощности поглощенной дозы излучения является Грей в секунду

(Гр/с), равный мощности поглощенной дозы излучения, при которой за время 1 с облученным веществом поглощается доза излучения 1 Дж/кг.

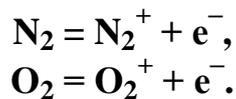
Для описания поглощенной дозы излучения и мощности поглощенной дозы допускается применение внесистемных единиц, называемых рад и, соответственно, рад в секунду (рад/с),  $1 \text{ рад} = 0.01 \text{ Гр}$  [7].

Взаимодействие излучения и высокоэнергетических частиц с веществом сопровождается сложными радиационными эффектами (рисунок 3.9). Движение заряженных частиц большой энергии в веществе приводит к потере энергии, затрачиваемой ими почти полностью на возбуждение связанных электронов.



Рисунок 3.9 - Радиационные эффекты [7]

Ионизация газового наполнения внутреннего объема ЭС происходит с образованием положительных и отрицательных ионов, в частности, ионов азота и кислорода:



При наличии в газовом наполнении ЭС паров воды облучение вызывает образование ионов и свободных радикалов  $\text{H}^+$  и  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  и др., на основе которых возникают высокоактивные растворы, ускоряющие процессы коррозии.

Радиационная стойкость материалов и ЭРЭ характеризуется следующими **предельными уровнями доз**  $\gamma$ -облучения заметно изменяющими их свойства [2, 20]: оптическая прозрачность у стёкол –  $10^5 \dots 10^{10}$  рад, а у кварца –  $10^7 \dots 10^{11}$  рад, металлы и сплавы (вязкость) –  $10^{10} \dots 10^{12}$  рад, электрические свойства керамики, ситалла –  $10^{11}$  рад, пластмассы и эластомеры (электрические и механические) свойства –  $10^7 \dots 10^{11}$  рад, консистенция и смачиваемость масел и смазок –  $10^9 \dots 10^{12}$  рад, полупроводниковые приборы и ИС (электрические свойства) –  $10^2$  рад.

**Фоновые излучения, воздействующие на металлы и сплавы**, увеличивают их прочность и уменьшают вязкость (при облучении предел текучести уменьшается в 2...3 раза) электрические же характеристики при этом практически не меняются. Например, при облучении металлов их удельное сопротивление возрастает всего на 20...30%.

Наименьшей радиационной стойкостью обладают электротехнические стали и магнитные материалы, у которых магнитная проницаемость и удельное сопротивление заметно изменяются при интегральном потоке около  $10^{18}$  част/см<sup>2</sup>. Некоторые металлы, например бор, марганец, кобальт, кадмий, цинк, молибден и др., после облучения нейтронами сами становятся радиоактивными. У керамических материалов и изделий из них увеличивается склонность к пробою, а кварц и стекло начинают тускнеть, терять прозрачность. Термопластичные материалы становятся хрупкими, темнеют или обесцвечиваются. Наиболее термостойкий, химически неактивный, высокочастотный фторопласт-4 уже при дозе 10 рад разлагается на фтористоводородные соединения. Наиболее стойким является полистирол. Эластомеры становятся твердыми, теряют эластичность, а бутиловый каучук, наоборот, становится клейким. Пропиточные и заливочные масла образуют отстой и выделяют газ [2, 7].

В большинстве случаев нарушения работоспособности ЭС при воздействии РИ сказываются в основном в изменении параметров полупроводниковых приборов (ПП) и ИС. В результате **ионизации** под действием излучения концентрация неосновных носителей в полупроводнике возрастает на несколько порядков (в  $10^6$  раз и более). При этом возможен перегрев и разрушение ПП и ИС из-за значительного увеличения переходных токов, возникших в результате генерации в полупроводниках под действием РИ избы-

точных электронно-дырочных пар. Увеличение переходных токов приводит также: к пробоею перехода из-за насыщения транзистора; к появлению паразитных сигналов; к появлению обратной связи, приводящей к паразитной генерации. Средняя энергия ионизации при облучении электронами составляет в кремнии 3.6 эВ, в арсениде галлия – 7.2 эВ, в германии – 2.86 эВ. Возникают **радиационные дефекты**, т.е. устойчивые нарушения структуры, образующиеся в полупроводниковых кристаллах. Воздействующая частица, передавая атому твердого тела энергию больше некоторой пороговой энергии, выбивает его из узла кристаллической решетки. При этом образуется относительно устойчивый точечный дефект вакансии – междоузельный атом или пара Френкеля. Вторичный процесс представляет собой взаимодействие выбитого из узла кристаллической решетки атома с соседними атомами, который может развиваться при наличии у выбитого атома достаточной энергии для выбивания из узла решетки вторичного атома. Этот может привести к образованию в кристаллической решетке разупорядоченных областей – кластеров. Области повреждений достигают размеров порядка 5..50 нм с концентрацией дефектов около  $10^{20}$  см<sup>-3</sup>. Кластеры образуются при воздействии протонов,  $\alpha$ -частиц и быстрых нейтронов. В случае воздействия быстрых электронов и гамма-квантов, как правило, образуются точечные дефекты, изотропно распределенные по объему твердого тела. В результате воздействия РИ на ПП и ИС сильно изменяются время жизни неосновных носителей заряда, удельное сопротивление, концентрация и подвижность носителей заряда.

ИС при облучении изменяют свои параметры вследствие изменения параметров резисторов, конденсаторов, диодов и транзисторов, входящих в их структуру. Кроме того, при РИ изменяются изолирующие свойства разделительных *p-n*-переходов, отделяющих одну структуру от другой в конструкции ИС, резко возрастают токи утечки, появляется множество паразитных связей между элементами ИС, что, в конечном счете, приводит к нарушению ее нормального функционирования [7, 20].

При проектировании **радиационно стойких ИС и микросборок** необходимо соблюдать некоторые наиболее общие правила при их разработке [2]:

- уменьшать отношение числа активных элементов к числу пассивных;
- уменьшать рассеиваемую мощность;
- использовать радиационно-стойкие проводящие и диэлектрические материалы;
- повышать универсальность;
- снижать зависимость выходных параметров от коэффициентов усиления входящих в ее состав транзисторов.

**Сопротивление резисторов** при воздействии РИ в результате ионизации, нарушения структуры и химических процессов в материалах и радиационного разогрева в большинстве случаев, уменьшается. При этом уровень шумов резисторов увеличивается, а их влагостойкость ухудшается. Наиболее устойчивы к облучению керамические и проволочные резисторы, менее устойчивы металлопленочные и пленочные углеродистые резисторы, а

наименее устойчивы композиционные резисторы. В радиационно стойких ЭС рекомендуется применять по возможности низкоомные резисторы (менее 10 кОм), а высокоомные – подвергать опрессовке или заливке эпоксидной смолой. Увеличение толщины защитного покрытия в 10 раз позволяет снизить чувствительность резистора к воздействию РИ не менее чем в 5 – 8 раз. Следует также предусматривать максимальное удаление резисторов друг от друга и защиту их выводов. При уменьшении размеров резистора его устойчивость к РИ повышается.

**Радиационная стойкость конденсаторов** определяется стойкостью диэлектрика. В результате облучения конденсаторов изменяются их емкость и тангенс угла диэлектрических потерь, уменьшается электрическая прочность. Относительное изменение проводимости диэлектриков при РИ намного порядков выше, чем у проводников. Малой радиационной стойкостью обладают конденсаторы с органическим диэлектриком (бумажные, полистироловые, фторопластовые, лавсановые и др.), а наименьшей электролитические, у которых разложение электролита и разгерметизация наступают при низких дозах облучения. Конденсаторы с неорганическим диэлектриком (керамические, стеклокерамические, слюдяные) обладают высокой радиационной стойкостью. При интегральном потоке нейтронов  $10^{16}$  част/см<sup>2</sup> и дозе гамма-излучения  $10^9$  рад параметры их изменяются незначительно.

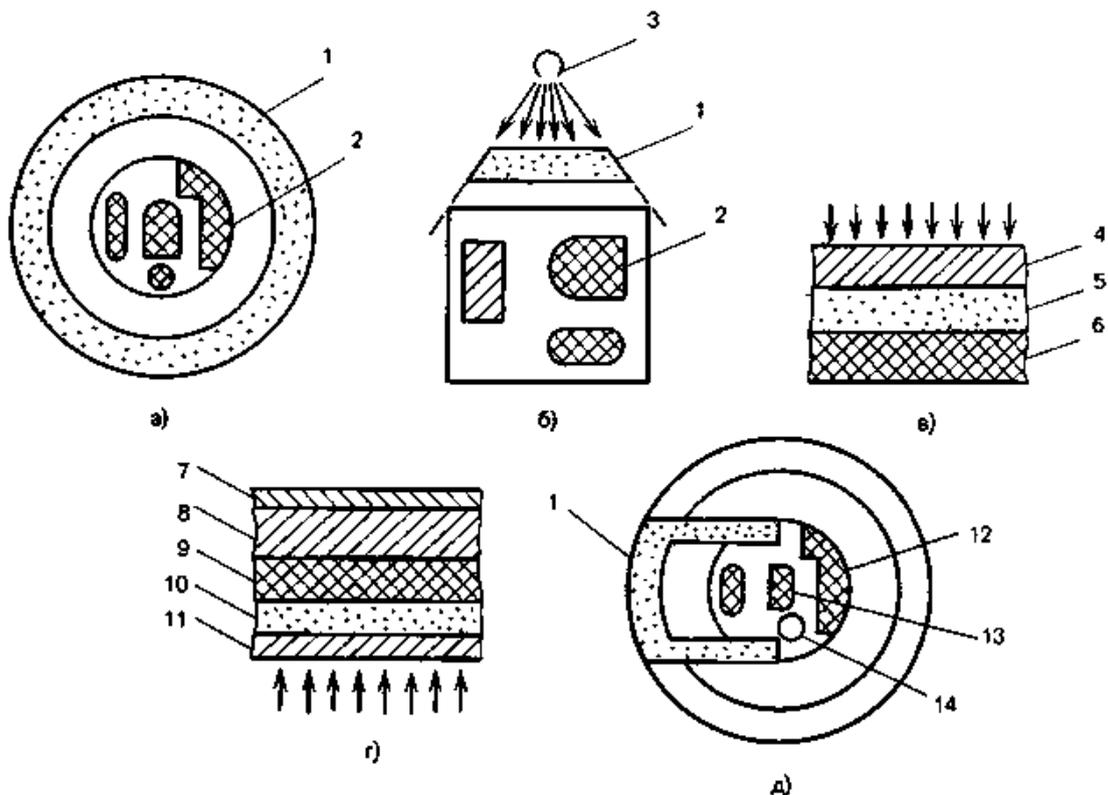
**Стойкость моточных изделий** к воздействию РИ определяется степенью изменения свойств применяемых в них материалов и конструкций и зависит от характеристик  $\gamma$ -нейтронного излучения. Под воздействием непрерывного  $\gamma$ -нейтронного излучения у магнитных материалов изменяются индукция, магнитная проницаемость, электрическое сопротивление, упругость и другие характеристики. Монолитность конструкций из железа и меди, обладающих сравнительно большими коэффициентами теплообразования, приводит к значительному радиационному нагреву. При этом сопротивление изоляции трансформаторов уменьшается на несколько порядков (примерно до  $10^2 \dots 10^4$  МОм). При прекращении воздействия излучения сопротивление изоляции восстанавливается полностью. Время восстановления может достигать до 1 с. Подобным же образом при воздействии РИ за счет ионизации возникают токи утечки, и уменьшается на 3 – 5 порядков сопротивление изоляции у разъемов, у монтажных проводов и в радиочастотных кабелях. Наименее стойкая к воздействию РИ изоляция из фторопласта-4 [2, 20].

**К конструктивным мерам снижения интенсивности воздействия РИ** относятся различные виды экранирования наиболее ответственных узлов ЭС. На рисунке 3.10 приведены характерные способы защиты ЭС от ионизирующих излучений.

Вариант применения общего экранирования для защиты ЭС от воздействия радиации со всех сторон показан на рисунке 3.10, а. Это наиболее эффективный способ защиты, но и наиболее дорогой. Его можно применять только в особо важных случаях, когда радиационное воздействие наиболее

опасно для ЭС по сравнению с другими факторами. Если расположение источника излучения 3 известно, и оно не меняется, то можно применить теневой экран 1 (рисунок 3.10, б), который располагается между источником излучения и ЭС 2 и полностью перекрывает доступ проникающей радиации к элементам ЭС. Для защиты от космических излучений используют многослойные экраны (рисунок 3.10, в) из металлов с высоким кулоновским барьером (например, свинец) 4 и поглощающие прослойки 5, 6.

Для защиты от гамма-нейтронного излучения требуется значительно большее число слоев. На рисунке 3.10, г показан такой вариант защиты. Здесь кроме кожуха ЭС 7 используют полиэтиленосвинцовый экран 8 для защиты от гамма-излучения, термический противонейтронный экран 9 из полиэтилена с окисью бора, полиэтиленографитовый замедлитель быстрых нейтронов 10 и нержавеющую сталь 11. При точных знаниях характеристик источника радиации можно комплексно применять все методы защиты с целью минимизации ее размеров и массы. На рисунке 3.10, д приведен вариант такой защиты. В этом случае использован частичный экран 1, защищающий ЭС с наиболее вероятного направления излучения, узлы и блоки ЭС выполнены из элементов повышенной стойкости 12. Для отдельных узлов ЭС применены локальные экраны 13. Большинство узлов изготовлены с использованием специальных поглощающих покрытий 14 [7].



**Рисунок 3.10 - Варианты защиты ЭВС от излучений:**

а - общая экранировка; б - теневой экран; в - многослойный экран; г - комбинированный многослойный экран; д - смешанное экранирование;  
1 - экран; 2 - ЭС; 3 - источник излучения; 4 - свинцовый экран; 5,6 - поглощающие прослойки; 7 - кожух

### 3.3 Системные факторы

#### 3.3.1 Общие положения

По мере усложнения ЭС их проектирование становится неэффективным без представления ЭС в виде системы. Слово система происходит от греческого слова *systema* - целое, составленное из частей. К наиболее сложным видам систем относятся **целенаправленные системы**, поведение которых подчинено достижению определённых целей, и **самоорганизующиеся системы**, способные в процессе функционирования видоизменять свою структуру.

Системы делятся на материальные и абстрактные. **Материальные системы** (целостные совокупности материальных объектов) в свою очередь делятся на **системы неорганической природы** (физические, химические и др.) и **живые системы**. **Абстрактные системы** являются продуктами человеческого мышления (понятия, гипотезы, теории и т.д.).

**Системы** также делятся на **динамические** (изменяющие своё состояние во времени) и **статические** (не изменяющие своё состояния во времени). Если знание значений переменных системы в данный момент времени позволяет установить состояние системы в любой момент времени, то такая система называется **однозначно детерминированной**. У **вероятностной (стохастической) системы**, в отличие от **детерминированной**, знание значений переменных системы в данный момент времени позволяет только предсказать вероятность распределения значений этих переменных в последующие моменты времени.

По характеру взаимоотношений **системы** и среды системы подразделяют на **закрытые – замкнутые** (в них не поступает и из них не выделяется вещество, а происходит лишь обмен энергией) и **открытые – незамкнутые** (в них происходит ввод и вывод не только энергии, но и вещества). По второму закону термодинамики закрытые – замкнутые системы со временем достигают состояния равновесия при котором остаются неизменными все макроскопические величины системы и прекращаются все макроскопические процессы (состояние максимальной энтропии и минимальной свободной энергии). Открытые – незамкнутые системы со временем достигают состояния равновесия, при котором остаются неизменными все макроскопические величины системы, но продолжают макроскопические процессы ввода и вывода энергии [28].

В античной философии понятие система истолковывается как упорядоченность и целостность бытия. Древнегреческие учёные (Евклид, Платон, Аристотель и др.) разработали идею системности знания (аксиоматическое построение логики и геометрии). Претерпевая длительную историческую эволюцию, понятие системы с середины двадцатого века становится одним из ключевых философско-методологических и специально-научных понятий. Основой исследования систем являются принципы диалектики (всеобщей связи явлений, развития, противоречия и др.). Начиная со второй половины

девятнадцатого века, понятие системы проникает в различные отрасли знания (в теорию Ч. Дарвина, в теорию относительности, в квантовую физику и др.). В это время учёными (А.А. Богдановым, В.И. Вернадским, Т. Котарбиньским и др.) сформулирован ряд принципов анализа систем. В конце сороковых годов двадцатого века Л. Берталанфи предложил программу построения общей теории систем. Дополнительно к этой программе, тесно связанной с развитием кибернетики, в 50 – 60 г.г. был выдвинут ряд общесистемных понятий и определений понятия системы.

Лишь в рамках семейства определений системы удаётся выразить основные принципы **системного подхода**, основную суть которого представляет исследование объектов с помощью их математических моделей (ММ). **Системный подход** является направлением методологии научного познания и практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем. **Системный подход** способствует адекватной постановке проблем в проектировании ЭС и выработке конкретной стратегии их решения. **Системный подход** основывается на не очень жёстко связанных принципах, которые позволяют показать недостаточность старых традиционных способов для постановки и решения новых задач и помогают строить новые способы для этого, задавая структурные характеристики объекта и способствуя формированию оптимальных программ проектирования.

Применительно к науке и технике, **система** - это единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, знаний.

При решении задачи проектирования РЭС **системный подход**<sup>9</sup> является методом оптимального решения задачи, основанным на всестороннем целостном рассмотрении системы и ее изменений в процессе взаимодействия со средой и на рассмотрении всех связей её элементов при одновременном учете большого числа различных групп факторов и ограничений. Это решение задачи проектирования для части с учетом целого. Системный подход предполагает общую оптимизацию разработки, проектирования, производства, эксплуатации, отдельные составные части которых могут и не быть оптимальными.

Применительно к проектированию ЭС **система** - это множество элементов (агрегатов, узлов, приборов и т.п.), понятий, норм с отношениями и связями между ними, образующих некоторую целостность и подчинённых определённому руководящему принципу [1]. Часть элементов системы, выполняющих некоторое функционально завершённое преобразование, называют **подсистемой**. Естественно, что из-за **множественности описания** одна и та же система может быть представлена различным количеством подсистем, что определяется степенью детализации функциональных преобразований, выполняемых подсистемами.

Применительно к эксплуатации ЭС **система** – это совокупность взаимосвязанных разнородных устройств, частей, подсистем, совместно вы-

<sup>9</sup> называемый в этом случае также **блочно-иерархическим подходом**.

полняющих заданные функции, решающих общую задачу в условиях взаимодействия с внешней средой, с учетом развития и противоречий [2, 4, 28].

### 3.3.2 Основные принципы системного подхода [2, 4, 21, 27, 28]

**Целостность изучаемой системы** сводится к следующим положениям:

- изучение свойств целой системы на основе анализа и знания частей этого целого;

- принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих её элементов и невыводимость из свойств составляющих элементов свойств целого;

- зависимость свойств элементов системы от их места, функций и т.д. внутри системы;

- при исследовании объекта как системы, описание его частей не имеет самостоятельного значения, так как каждая часть объекта описывается не отдельно, а с учетом ее роли во всем объекте;

- при исследовании сложного объекта учитывается зависимость состояния частей от состояния всей системы; в системе не должно быть недостающих частей, так как при невыполнении этого условия она перестаёт выполнять поставленную цель, то есть теряет свойство целенаправленности.

**Структурность** – возможность описания системы через установление её структуры, то есть сети связей и отношений системы:

- обусловленность поведения системы определяется не столько поведением её отдельных элементов, сколько свойствами её структуры;

- с помощью структурности можно осуществить переход к определению поэлементного строения объекта, к установлению взаимосвязей, свойств, признаков, выявленных при параметрическом описании исследуемого объекта с помощью коммутационных связей между его элементами.

**Взаимозависимость системы и среды** (т.е. система формирует и проявляет свои свойства только при взаимодействии с окружающей ее средой, являясь при этом активным компонентом взаимодействия).

**Открытость системы** проявляется в том, что, наряду с взаимодействием с окружающей ее средой, система реагирует на все входные сигналы и воздействия (как полезные, так и паразитные).

**Структурированность** – это различимость частей системы, позволяющая представить её в виде структурной схемы.

**Иерархичность** – каждую подсистему или элемент на некотором  $k$ -м уровне рассматривают как элемент системы более высокого  $(k-1)$ -го уровня, и, в свою очередь, может быть описан как система, состоящая из элементов соседнего, более низкого  $(k+1)$ -го уровня.

**Управляемость системы** – это её способность изменяться под влиянием управляющих воздействий:

- управляющие воздействия могут быть внутренними (например, автоматическая регулировка усиления или автоматическая подстройка частоты

и т.п.) или внешними (например, регулировка усиления или подстройка частоты человеком оператором и т.п.);

- для парирования процессов старения и износа системы могут использоваться такие формы управления состоянием системы при эксплуатации как техническое обслуживание и ремонт.

**Ингерентность**<sup>10</sup> – свойство системы существовать в условиях внешних воздействий, к которым можно отнести внешнюю среду и ресурсы<sup>11</sup>.

Параметры внешних воздействий рассмотрены в разделе 3.1 и регламентированы стандартами в форме степеней жёсткости, зависящих от категории (группы) ЭС. Одним из таких стандартов является ГОСТ 16962-71\*, часть требований которого приведена в *таблице 3.1*.

Таблица 3.1

## 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

Численные значения параметров внешней среды, соответствующие различным степеням жёсткости, расшифровываются этими стандартами. В качестве примера приведена расшифровка степеней жёсткости по воздействию повышенной температуры окружающей среды (*таблица 3.2*).

<sup>10</sup> от английского *inherent* - присущий, свойственный

<sup>11</sup> под понятием ресурсы (от французского *resources* - источники, запасы) здесь следует понимать электропитание, снабжение, финансирование и т.п.

Таблица 3.2

**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	440	50	70	85	100	125	155	200	250	315

**Эмерджентность**<sup>12</sup> – появление чего-то качественно нового (полезного или вредного) – такого, чего не могло быть без объединения:

- эмерджентность при соединении одинаковых элементов в философии часто называют переходом количества в качество (например, последовательное присоединение к основному гальваническому элементу в цепи смещения триггера дополнительного гальванического элемента может привести к изменению состояния триггера, а последовательное увеличение массы радиоактивного вещества при достижении критической массы вызывает внезапное появление цепной реакции и взрыв);

- параллельное присоединение к источнику тока нагруженного на лампу накаливания дополнительно нескольких ламп накаливания приводит к резкому уменьшению вызываемой ими освещённости окружающего пространства в световом диапазоне;

- последовательное или параллельное подключение различных по типу элементов в систему автоматического управления (САУ) может перевести САУ из устойчивого состояния в неустойчивое и наоборот – из неустойчивого состояния в устойчивое.

**Множественность описания** – система может быть описана множеством математических моделей, каждая из которых описывает определенный ее аспект:

- многоуровневая иерархическая система ММ дает возможность связать первоначальное описание объекта, сделанное с помощью абстрагирования наивысшего уровня, с его детальным окончательным описанием, позволяющим изготовить проектируемый объект;

- один и тот же исследуемый объект выступает как обладающий одновременно разными характеристиками, параметрами, функциями, структурой.

Одним из важнейших принципов системного подхода при проектировании считается **преемственность**. Широкое использование уже используемых на предприятии отработанных (базовых) конструкций, знакомых видов материалов и компонентов, стандартных технологических процессов и схемотехнических решений, известных физических принципов позволяют уменьшить стоимость и сократить сроки проектирования. Тем не менее, в случае проек-

<sup>12</sup> от английского *emergency* - внезапное появление

тирования ЭС с параметрами заметно лучше достигнутых, нужно искать принципиально новые решения [3].

При создании систем автоматизированного проектирования (САПР) базируются на следующих общесистемных принципах [4]:

**Принцип системного единства** состоит в том, что на всех стадиях создания САПР все входящие в ее состав подсистемы организованы таким образом, что их взаимодействие обеспечивает целостность САПР.

**Принцип информационного единства** состоит в том, что в САПР должна быть единая информационная база, а в ее подсистемах должны использоваться способы представления информации, предусмотренные нормативными и гостовскими документами.

**Принцип включения** состоит в том, что при создании САПР (в случае необходимости) должны соблюдаться условия ее стыковки (вхождения) с более иерархически сложными системами, такими, например, как отрасль.

**Принцип развития** состоит в том, что современная САПР должна создаваться как открытая развивающаяся система, предусматривающая совершенствование ее структурной организации и наращивание технических средств.

**Принцип комплексности** (системного подхода) состоит в том, что САПР должна обеспечивать при создании ЭС связность между всеми этапами разработки и производства аппаратуры.

**Принцип инвариантности** состоит в том, чтобы структурная организация всех подсистем САПР была независимой от объектов проектирования и по возможности типовой или универсальной.

Перечислим важнейшие особенности систем:

- наличие в системах процессов **передачи информации**;
- наличие в системах **технических и физических противоречий** (при этом реализуется философский принцип единства и борьбы противоположностей).

Приведём примеры технических противоречий:

- для увеличения механической прочности бортовой космической РЭС требуется увеличивать массу элементов конструкции системы, а это приводит к дополнительному увеличению габаритов ракеты и к дополнительному расходу топлива;

- для улучшения электромагнитной и тепловой совместимости необходимо дальше разнести элементы РЭС в пространстве, что приводит к дополнительному увеличению габаритов системы и т.д.

Пример физического противоречия:

- для снижения температуры элемента системы за счёт улучшения теплоотвода в окружающее пространство его поверхность должна иметь большое по величине значение степени черноты, в то же время для снижения температуры элемента его поверхность должна иметь малое по величине значение степени черноты, чтобы уменьшить нагрев данного элемента соседними тепловыделяющими элементами;

**Функциональное описание** исследуемого объекта осуществляется исходя из функциональных зависимостей между параметрами (функционально-параметрическое описание) или частями объекта (функционально-структурное описание):

- исследование системы, как правило, неотделимо от исследования условий ее функционирования;

- при этом функция части объекта задается на основе характеристики всего объекта; анализ функциональной характеристики исследуемого объекта может оказаться недостаточным, так как весьма важно установить целесообразность функционирования системы.

**Параметрическое описание** представляет собой простейшую форму научного анализа, позволяющего провести исследование любого объекта, базирующегося на эмпирических наблюдениях, описании свойств, признаков и отношений исследуемого объекта к другим.

Для того чтобы человек мог представить себе задачу проектирования сложного ЭС в целом, он вынужден прибегать к абстракции очень высокого уровня. В то же время, для изготовления проектируемого РЭС требуется весьма детальное его описание.

При использовании блочно-иерархического подхода выполняется расчленение (декомпозиция) представлений об объекте проектирования, включая модели, математический аппарат для построения алгоритмов проектирования, постановки проектных задач, формы документации и т.п., на ряд иерархических уровней, называемых уровнями абстрагирования.

**Цель декомпозиции** – замена проектной задачи чрезмерной сложности некоторым числом задач допустимой сложности. Каждому уровню абстрагирования соответствует свое определение системы и элемента. Если в результате декомпозиции мы все же получим сложный элемент, то этот элемент можно рассматривать как систему более низкого ранга, чем исходная система. Процесс декомпозиции продолжают до тех пор, пока части системы не станут элементарными, доступными для изучения и проектирования.

Декомпозиция дает возможность:

- 1) распараллелить работу между несколькими исполнителями;
- 2) значительно упростить задачу перед каждым исполнителем, а значит, повысить скорость и эффективность ее решения.

Поиск оптимального проектного варианта любого узла ЭС и ЭС в целом связан с определением экстремума одного или нескольких показателей качества. Различают локальные и глобальный экстремумы. Локальных экстремумов может быть несколько, а глобальный всегда существует только один. Часто для того, чтобы ЭС удовлетворяло заданному показателю качества, достаточно нахождения локального экстремума. При этом получается не оптимальное, а лишь приемлемое решение, однако затраты времени и средств сокращаются во много раз при несущественном проигрыше в качестве ЭС.

После завершения проектирования элементарных частей самого низкого ранга системы начинается обратный процесс – **композиции** (объединения)

этих частей в подсистемы более высокого ранга и так до тех пор, пока не получим искомую систему.

Наравне с декомпозицией описаний проектируемого объекта по степени детализации используется расчленение описаний по типам отображаемых свойств объекта.

К числу основных системных представлений о ЭС можно также отнести **функциональный, конструкторский и технологический аспекты**, в каждом из которых присутствуют свои уровни абстрагирования:

1) В **функциональном аспекте** принято выделять системный (структурный), функционально-логический, схемотехнический и компонентный уровни:

- на **системном уровне** системами являются комплексы ЭС (радиолокационная станция, система управления движущимся объектом, компьютер и т.п.). Элементами системы являются блоки (устройства) ЭС (приемники, передатчики, процессоры, модемы и т.п.);

- на **функционально-логическом уровне** эти блоки в свою очередь рассматриваются как системы, состоящие из элементов – функциональных узлов (усилители, генераторы, регистры, счетчики, дешифраторы, отдельные триггеры и вентили, и т.д.);

- на **схемотехническом уровне** функциональные узлы также описываются как системы, состоящие из схемных компонентов – электрорадиоэлементов (микросхем, транзисторов, резисторов, конденсаторов, трансформаторов и т.п.);

- на **компонентном уровне** рассматриваются процессы в схемных компонентах.

2) **Конструкторскому аспекту** ЭС присуща собственная иерархия, например, уровни разукрупнения радиоэлектронных средств РЭС), регламентированные ГОСТ Р 52003-2003 [22] и описанные в разделе 2. Приведём ещё один из множества способов декомпозиции конструкций ЭС:

- **0 уровень: компонент.** Это неделимые части интегральных микросхем (ИМС), которые нельзя вычленишь, поставить как отдельное изделие (топологические фрагменты функциональных ячеек и отдельных компонентов);

- **1 уровень: элемент.** Состоит из взаимосвязанных компонентов, которые могут поставляться. Это, например, дискретные электрорадиоэлементы (ЭРЭ) – микросхемы, транзисторы, резисторы, конденсаторы и т.п.;

- **2 уровень: функциональный узел (ФУ), ячейка, плата, типовой элемент замены (ТЭЗ).** Объединяет с помощью электрических соединений элементы 1 уровня. Отличительной чертой узлов является то, что они не имеют самостоятельного функционального значения.

- **3 уровень: блок.** В них могут быть использованы десятки элементов первого уровня. Блоки отличаются тем, что могут иметь самостоятельное функциональное значение и могут быть использованы как отдельные элек-

тронные устройства. Характерным является наличие у блоков органов управления, настройки, контроля и сопряжения с другими блоками аппаратуры.

- **4 уровень: стойки и шкафы.** В них могут объединяться несколько блоков, входящих в систему данной аппаратуры. Конструкция стоек предусматривает наличие всех системных соединений блоков, обеспечение их источниками питания и вентиляцией.

- **5 уровень: радиотехнические системы (РТС).** Одной из особенностей РТС является значительное пространственное удаление входящих в РТС элементов 4 уровня друг от друга (например, в системах спутникового телевидения, в радиолокационных системах и т. д.).

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.

3) В **технологическом аспекте** рассматриваются иерархические уровни описания технологических процессов в виде принципиальных схем, маршрутов, совокупности операций и переходов [31].

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. Системный подход является средством анализа и синтеза при одновременном использо-

вании большого числа компонентов и факторов, а также взаимосвязей, образующих систему. Он позволяет рассматривать ЭС как единое целое при проектировании ее частей.

Свойства ЭС описываются совокупностью электрических, конструктивно-технологических, эксплуатационных и экономических параметров и характеристик. Для исследования и проектирования целесообразно разделять ЭС, как систему на устройства (подсистемы):

- по выполняемым функциям;
- по физической сущности процессов и особенностям их закономерностей.

При системном проектировании определяют структуру и состав ЭС. При функциональном проектировании разрабатывают функциональную и принципиальную схемы ЭС. На этапе технического проектирования ведется конструкторско-технологическая проработка ЭС.

Проектирование ЭС заключается в решении поставленной задачи методами анализа и синтеза.

**Анализ** – метод познания при помощи декомпозиции или разложения предметов исследования (объектов, свойств и т. д.) на составные части. В связи с этим анализ составляет основу аналитического метода исследований.

**Синтез** – соединение отдельных сторон предмета в единое целое.

Анализ и синтез представляют собой единство противоположностей.

При анализе определяются функциональные параметры и возможности реализации конкретной структуры ЭС. Синтез предполагает построение ЭС по заданным функциям решения поставленной задачи на основании разработки оптимальной структуры, схемных решений и конструкции.

Задача синтеза ЭС возникает в том случае, когда в результате анализа установлено, что существующее ЭС не соответствует предъявляемым требованиям. В результате синтеза создается новое ЭС и путем анализа оценивается его соответствие новым требованиям.

Таким образом, проектирование ЭС следует рассматривать как итеративный процесс последовательного чередования анализа и синтеза.

**Воздействия среды** на систему называют **входными воздействиями**, **воздействия системы** на среду – **выходными воздействиями**. И те, и другие оценивают, как правило, многомерными векторами. Система может быть формализована, т.е. абстрактно представлена некоторой математической моделью ее функционирования. Последняя является упрощенным математическим отображением наиболее существенных свойств реальной системы. Она характеризует правило преобразования входных сигналов  $X$  в выходные  $Y$  с помощью некоторого оператора  $A$ :

$$Y = A\{X\}. \quad (3.8)$$

Следует иметь в виду, что точно описать объект ни одна математическая модель практически не может, поэтому роль разработчика аппаратуры по-прежнему остается определяющей. На разных стадиях создания и эксплуатации ЭС их математические модели будут различными (например,

модели схемотехнического проектирования и проектирования компонентов системы, модели оптимизации ЭС, модели технологического процесса производства и пр.) [4].

В начале проектирования объекта (например, ЭС) целесообразно провести системный анализ этого объекта. Системный анализ по методике, разработанной Перегудовым Ф.И., Тарасенко Ф.П. [24] и Алексеевым В.П. кратко изложенной в работе [21], проводится примерно в такой последовательности:

- состояние вопроса и анализ потребности в разработке;
- формулировка проблемы;
- составление списка участников проблемной ситуации;
- составление проблемного массива;
- выбор конфигуратора;
- выявление цели;
- формирование критериев;
- исследование проблемы и путей достижения выявленных целей;
- генерация альтернатив и выбор наилучшей альтернативы.

При составлении списка участников проблемной ситуации необходимо выявить всех, кого касается эта ситуация, например, разработчиков, производителей, потребителей, продавцов, сервисные службы, окружающую среду (животный и растительный мир, атмосфера, среда обитания человека), будущее поколение и т.д.

При составлении проблемного массива необходимо для каждого участника проблемной ситуации конкретно определить касающиеся его проблемы.

Конфигуратором при проведении системного анализа понимают минимальное количество языков для создания адекватной модели проблемы.

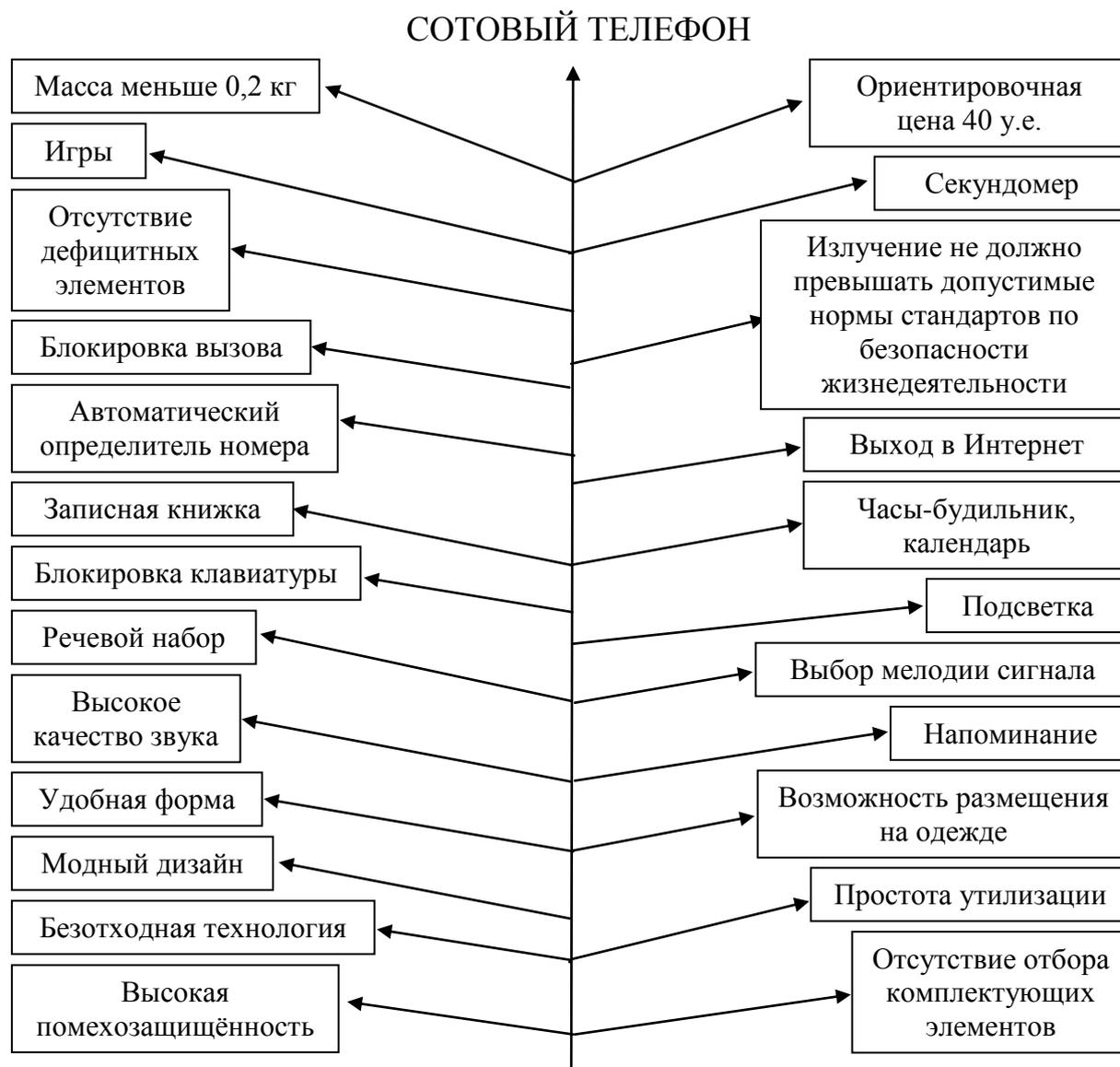
Например, при проектировании ЭС могут быть использованы такие языки:

- **профессиональный** (по характеру проблемы),
- **математический**,
- **алгоритмический** (язык описания алгоритмов, графический или словесный, и язык программирования),
- **экономический** (стоимость проекта, его рентабельность и экономическая целесообразность),
- **технический** (ГОСТы, ОСТы, СТБ, международные стандарты, регламентируемые требования к качеству, этапам проектирования),
- **информационный**.

Выявить цель важнее, чем найти наилучшую альтернативу. Не самая лучшая альтернатива все-таки ведёт к цели, пусть и не оптимальным способом. Выбор же неправильной цели приводит не столько к решению самой проблемы, сколько к появлению новых проблем. На данном этапе системного анализа определяется, что надо сделать для снятия проблемы (в отличие от последующих этапов, определяющих как это сделать). Для более объективно-

го обоснования некоторых целей необходимо проводить анкетирование участников проблемной ситуации со статистической обработкой данных.

Приведём примерный вид дерева целей при проектировании сотового телефона (см. рисунок 3.11).



**Рисунок 3.11 - Примерный вид дерева целей при проектировании сотового телефона**

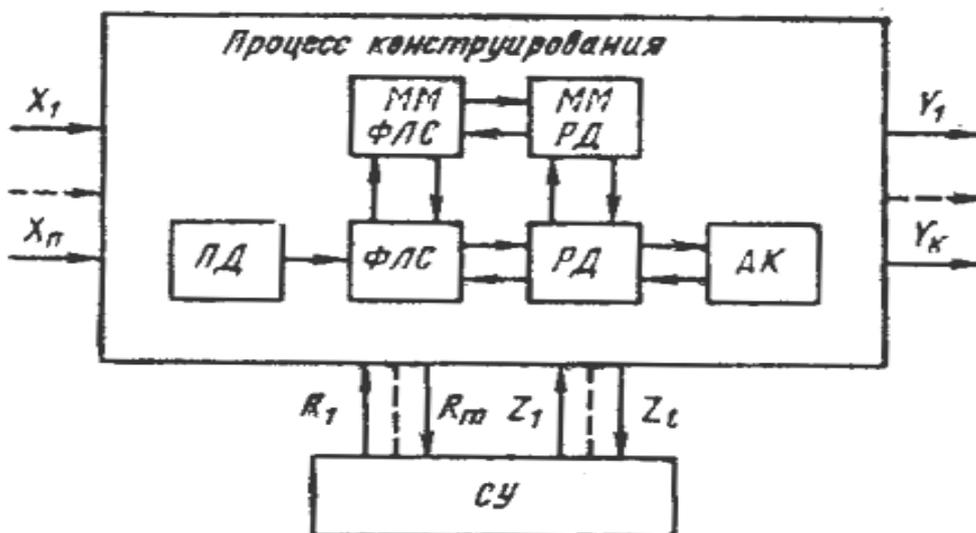
При формировании критериев, позволяющих оценить движение к целям, в качестве основных выбраны следующие их виды:

- функциональные (производительность, точность, показатели надёжности и т.д.);
- технологические (технологическая себестоимость, коэффициенты стандартизации, унификации и т.д.);
- организационно-экономические (сроки выполнения работы, трудоёмкость, себестоимость разработок, стоимость технического обслуживания и ремонта, стоимость утилизации и т.д.);

- эргономические (эстетичность, удобство и безопасность работы пользователя и т.д.).

Исследование проблемы и путей достижения выявленных целей может быть проведено теоретическими, экспериментальными или информационными методами. При этом процесс конструирования ЭС может быть отображен набором операций, связанных с выбором принципа действия (ПД) разрабатываемой конструкции, ее функционально-логической схемы (ФЛС) и реализующей ее системы элементов, выполнением полного комплекта рабочей документации (РД) и анализом качеством (АК) сделанной разработки. Цель исследований – изучить принцип действия разрабатываемой конструкции, ее функционально-логическую схему и конструктивно-функциональную структуру (КФС). Изучаются прототип и аналоги. При информационном исследовании анализируют литературные источники информации, при экспериментальном – изучается физическая модель объекта в виде макета или действующего образца. Необходимо выяснить все функции объекта и его частей (блоков, функциональных узлов и т.д.) и классифицировать их на главную, основные, вспомогательные и вредные [19].

Обобщенная функциональная схема абстрактного процесса конструирования приведена на рисунке 3.12.



**Рисунок 3.12 - Обобщенная функциональная схема процесса конструирования [4]**

В этой схеме  $X_{1...n}$  – входные возмущающие воздействия (материалы, электрорадиоэлементы, квалификация конструкторов),  $Y_{1...k}$  – выходные переменные (отклонение параметров от номинальных значений, стоимость, точность, показатели надёжности и т.д.),  $R_{1...m}$  – управляющие сигналы (электрические сигналы, механические воздействия и т.д.) и  $Z_{1...l}$  – наблюдаемые переменные (разные физические величины и признаки, по которым

можно оценить  $Y_1 \dots k$ ). Взаимосвязь операций отмечена на *рисунке 3.12* стрелками.

Наиболее распространенным системным методом исследования процессов является метод, обеспечивающий достижение экстремального значения целевой функции, под которой понимают некоторый обобщенный показатель, наиболее полно характеризующий важнейшие показатели объекта производства. При этом детерминированные сигналы удобно характеризовать многомерными векторами

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_n \end{bmatrix}; \quad Y(t) = \begin{bmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_k \end{bmatrix}; \quad R(t) = \begin{bmatrix} r_1 \\ \dots \\ r_m \end{bmatrix}; \quad Z(t) = \begin{bmatrix} z_1 \\ \dots \\ z_l \end{bmatrix}, \quad (3.9)$$

где  $X(t)$ ,  $Y(t)$ ,  $R(t)$ ,  $Z(t)$  – соответственно векторы-столбцы возмущения, состояния, управления и наблюдения.

Если эти сигналы случайные величины, то их также можно представить векторами-столбцами, но элементами в них будут уже математические ожидания величин, а не сами величины.

Может иметь место равенство:  $Y_1 \dots k = Z_{1..L}$ . Будем считать его справедливым. В любой момент времени  $t_i$ , состояние системы  $Y(t_i)$  является функцией ее начального состояния  $Y(t_0)$  в момент времени  $t_0$  и векторов  $X(t_i)$  и  $R(t_i)$ . Тогда для детерминированной модели системы можно записать

$$\begin{aligned} Y(t_i) &= f[Y(t_0); X(t_i, t_0); R(t_i, t_0)]; \\ Y(t_i) &\in A(t); \quad X(t_i) \in B(t); \quad R(t_i) \in C(t), \end{aligned} \quad (3.10)$$

где  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$  – соответственно некоторые замкнутые области векторного пространства состояния, возмущения и управления, ограничивающие все возможные значения  $Y_1 \dots k$ ,  $X_1 \dots n$  и  $R_1 \dots m$ . Эти ограничения большей частью обусловлены физическими закономерностями, (ограничения первого рода), и ограниченностью ресурсов (ограничения второго рода).

Выражение (3.10) является математической моделью исследуемого процесса в общем виде. Будем считать, что поведение системы может быть описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Тогда (поскольку  $t_0$  представляет собой фиксированный момент времени, т.е.  $t_0 = \text{const}$ ) уравнение (3.10) можно привести к следующему виду с сохранением ранее приведенных ограничений:

$$\frac{dY}{dt} = \varphi[Y(t_i), X(t_i), R(t_i)]. \quad (3.11)$$

Если обозначить значение целевой функции изучаемого процесса через  $E$ , то очевидно, что она может быть представлена выражением вида

$$E = \Phi[Y(t_i); X(t_i); R(t_i)], \quad (3.12)$$

Будем для простоты считать, что оптимальный процесс соответствует, например, некоторому экстремальному значению целевой функции  $E$ . Тогда задачу оптимального управления процессом наиболее просто сформулиро-

вать следующим образом: найти оптимальный вектор управления  $R_{\text{опт}}(t)$  доставляющий экстремальное значение целевой функции  $E$  и удовлетворяющий ограничениям (3.10). Мы выбрали в качестве средства оптимизации процесса изменение вектора  $R(t)$  из-за того, что он наиболее эффективно воздействует на процесс.

В большинстве случаев оптимизированные процессы дополнительно подвергаются наладке и корректировке. Это обусловлено тем, что при построении математических моделей процессов невозможно учесть ряд влияющих факторов.

В процессе конструирования приходится обращаться к математическим моделям на этапах разработки ФЛС и РД. Это позволяет получить более качественные схемные и конструкторские решения. Обращение к математическим моделям дает возможность решить ряд задач оптимизации, связанных, например, с минимизацией числа и типов элементов ФЛС, с минимизацией площади платы, на которой размещена ФЛС и другие задачи, связанные с топологией [4].

Заключительный этап системного анализа – генерация альтернатив и выбор наилучшей альтернативы проводится для принятия новых технических решений по проектированию. При этом могут использоваться методы:

- мозговые атаки;
- морфологический анализ;
- функционально–стоимостной анализ;
- метод эвристических приёмов;
- использование теории решения изобретательских задач;
- использование «изобретающих» пакетов прикладных программ;
- аналитические методы, моделирование и исследование моделей.

Из множества сгенерированных альтернатив с помощью ранее выбранных критериев принимается решение о том, какая альтернатива должна быть реализована, а какие отброшены [21].

Разработка системы данных на тот или иной субъект системы разбивается на внешнее и внутреннее проектирования. Под внешним проектированием понимают обоснование исходных данных на субъект системы: условий работы субъекта, ограничений, накладываемых на структуру, состав показателей качества, и предъявляемых к ним требований. На этапе внутреннего проектирования вначале определяют принципы построения субъекта системы, его деление на подсистемы низшего ранга, разрабатывают исходные данные на них, далее проводят выбор элементной базы и синтез (оптимизацию по критерию предпочтения) конструкции. Последовательное решение этих задач на разных уровнях (от верхнего до нижнего) называется **сквозным проектированием ЭС** [2].

### 3.4 Факторы взаимодействия в системе «человек-машина»

В соответствии с ГОСТ 21033-75 человека-оператора (ЧО) рассматривают как человека, осуществляющего трудовую деятельность во взаимодействии с машиной (например, с ЭС) и окружающей средой (ОС).

**Система ЧО и ЭС**, посредством которой человек осуществляет трудовую деятельность в условиях воздействия ОС, называется системой «человек-машина» (ЧМС) или эргастической системой. При создании ЭС необходимо принимать во внимание «человеческий фактор», то есть свойства и функции человека, принимающего принципиальные решения и являющегося юридическим лицом, как определяющего звена ЧМС. Хотя ЭС замещают те или иные действия человеческих органов, но и функции человека-оператора требуют соответствующего обеспечения. При этом должны учитываться свойства человеческого организма или иными словами **антропонимические**<sup>13</sup> (закономерно принадлежащие человеку) **свойства** и функции. Учёт антропонимических свойств и функций при проектировании ЭС позволяет лучше приспособить ЭС для использования человеком.

**Возможности приспособления орудий и условий труда к человеку** при заданных воздействиях ОС изучаются наукой, называемой **эргономикой**<sup>14</sup>. Эргономика использует данные технических наук, физиологии, инженерной психологии, антропометрии, гигиены труда и социологии. Инженерная психология изучает деятельность и информационное взаимодействие человека с техническими устройствами в системе управления и контроля. Объектами её изучения, в частности, являются сенсорный вход (органы чувств), моторный выход (двигательный аппарат) человека-оператора и процессы переработки информации.

Вопросами **реализации требований эргономики** художественными средствами при проектировании технических объектов занимается отрасль науки, называемая **техническим дизайном**. Согласно энциклопедическому словарю [53] под дизайном<sup>15</sup> понимаются различные виды проектировочной деятельности, имеющие целью формирование эстетических и функциональных качеств предметной среды, а в узком смысле – художественное конструирование.

**Техническая эстетика**<sup>16</sup>, составляя теоретическую основу технического дизайна, изучает проблемы формирования предметной среды, создаваемой средствами промышленного производства для обеспечения наилучших условий труда, быта и отдыха людей. Она рассматривает методы и принципы ху-

<sup>13</sup> от греческих слов *anthropos* - человек и *nomos* – закон

<sup>14</sup> от греческих слов *ergon* - работа и *nomos* – закон

<sup>15</sup> от англ. *design* — замысел, рисунок, проект

<sup>16</sup> от греч. *aistheticos* – чувствующий

дожественного конструирования, проблемы стиля и мастерства художника–конструктора (дизайнера) [1, 2, 3, 5].

**ЧО** может выступать в **различных ролях:**

- в роли приёмника информации;
- в роли ретранслятора информации;
- в роли программиста;
- в роли **анализатора информации и исполнителя команд**, получаемых от ЭС.

Эти функции ЧО может выполнять с помощью индикаторов, регуляторов, коммутирующих и других устройств. Для оптимизации связи между ЧО и ЭС следует раскодировать или закодировать информацию так, как удобно ЧО, а не как удобно ЭС, так как ЭС имеет более высокие значения показателей надёжности и быстродействия. При проектировании ЭС, следует определить, какие функции при взаимодействии в системе «человек-машина» должен выполнять ЧО, а какие ЭС.

**Машине следует отдавать предпочтение:**

- при выработке частных решений на основе общих правил;
- при выполнении одновременно несколько различных функций; при математических расчетах по определенным формулам или правилам;
- при выполнении стандартных и повторяющихся движений, действий или задач;
- при необходимости сохранения в памяти большого количества информации и необходимости полного освобождения от её ненужных составляющих;
- когда необходимо опознать объект при отсутствии больших помех;
- когда требуются быстрая реакция и значительные силовые воздействия в процессе управления реальным объектом.

**Следует отдавать предпочтение человеку-оператору, если необходимо:**

- делать сообщение или принимать решение на основе ограниченного числа факторов (неполной информации) в результате обучения или интуитивных умозаключений;
- хранить большое количество информации в течение длительного времени для её использования в нужный момент;
- опознавать объект в условиях значительных помех;
- обнаружить слабые световые или звуковые сигналы; реагировать на случайные и непредвиденные обстоятельства;
- организовать и объединить показатели входов, различных по параметрам, по природе;
- воспринимать, интерпретировать и организовывать сигнальные образы, различные по природе;
- решать задачи, связанные с формированием понятий и выработкой методов, которые не могут быть алгоритмизированы, или задачи большой ответственности (из-за высокой стоимости ошибки).

Если при совместной работе параметры машины не соответствуют параметрам ЧО, то повышается его утомляемость, растет число ошибок и травм [2, 3, 5].

**Эргономические показатели ЧМС** делятся:

- **на гигиенические** (освещенность, вентилируемость, температура, напряженность электрического и магнитного полей, токсичность, шум, вибрация);

- **на антропометрические** (соответствие конструкции изделия размерам и форме тела человека и его частей, входящих в контакт с изделием);

- **на физиологические** (соответствие конструкции изделия силовым, скоростным и зрительным возможностям человека);

- **психофизиологические** (соответствие конструкции изделия возможностям восприятия и переработки информации, закрепленным и вновь формируемым навыкам человека).

Допустимые значения гигиенических параметров изложены в стандартах двенадцатой группы ГОСТа (система стандартов по безопасности труда – ССБТ). При проектировании ЭС из этой группы наиболее часто используют стандарты:

- ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ – «Опасные и вредные производственные факторы»;

- ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ – «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»;

- ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ – «Шум. Общие требования безопасности»;

- ГОСТ 12.2.003-74 ССБТ – «Общие санитарно гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и др.

Для создания комфортных условий рекомендуются:

- температура среды 291...297 К (наиболее благоприятно 293...295 К) при относительной влажности 40...80% и при атмосферном давлении 101.3 кПа;

- на одного ЧО площадь помещения должна быть не менее 5...6 м<sup>2</sup> (без учёта проходов и оборудования), а объём помещения – не менее 35...45 м<sup>3</sup>;

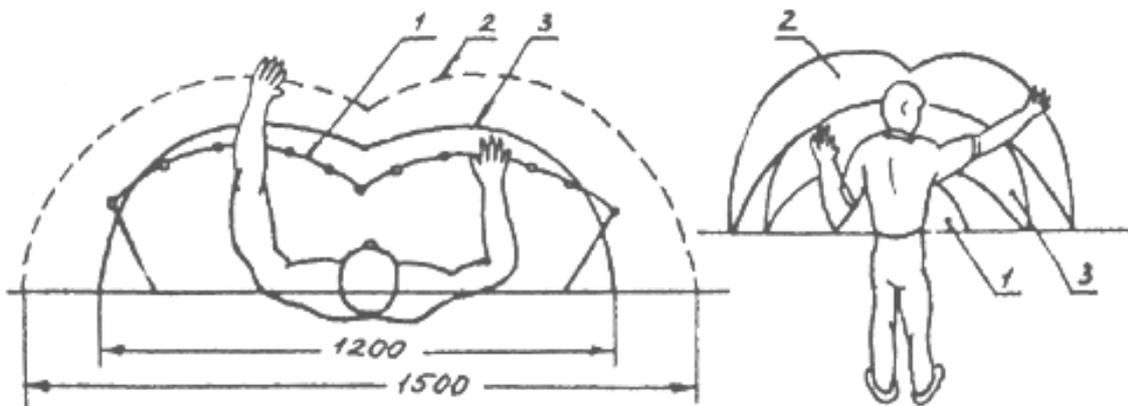
- освещённость, в зависимости от характера работы должна быть 200...1000 лк;

- опасные и вредные (физические, химические, биологические и психофизиологические) производственные факторы при комфортных условиях должны иметь параметры значительно меньшие предельно допустимых.

Между комфортными и некомфортными условиями окружающей человека-оператора среды существует психологическая граница, а между некомфортными и невыносимыми – физиологическая граница [3, 5].

**К антропометрическим показателям ЧО** относятся **геометрические пропорции его тела**, которые необходимо учитывать при конструировании пультов управления ЭС (положение элементов индикации и управления, размеры пульта). Антропометрические показатели определяют размеры и форму рабочего кресла, в частности форму и профиль сиденья, спинки, подлокотни-

ков кресла. Рабочие зоны человека-оператора на пульте управления ЭС относительно его рабочего места показаны на *рисунке 3.13*.



**Рисунок 3.13 - Рабочие зоны человека-оператора [25]:**

1 – оптимальная; 2 – максимальная; 3 – нормальная

К физиологическим показателям ЧО относятся силовые параметры различных органов движения человека, а также скорость и темп движений частей тела и характеристики зрения. Эти показатели необходимо учитывать при выборе конструкции элементов управления (ручек, кнопок, тумблеров и т.д.) и элементов индикации. Так, среднее время вращательного движения руки с преодолением сопротивления составляет 0.72 с, а без преодоления сопротивления – 0.22 с [3].

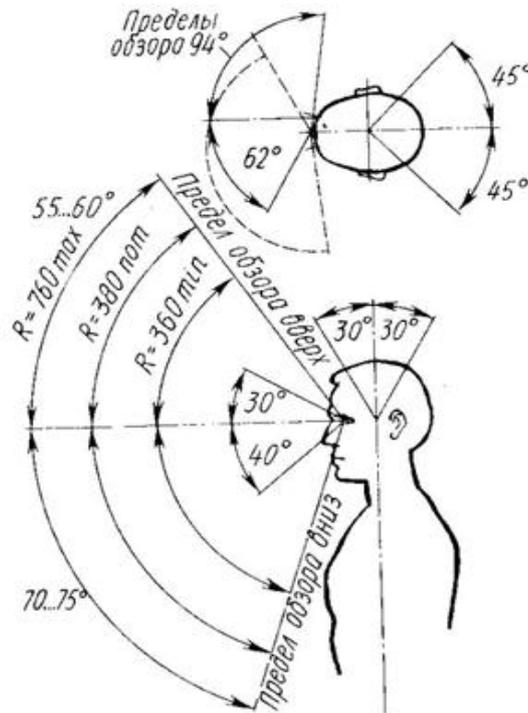
Как известно, **восприятие любой информации** происходит путём воздействия сигналов-раздражителей от элементов внешней среды на анализаторы человека – нервные окончания (рецепторы), связанные с органами чувств человека (зрением, слухом, тактильной чувствительностью).

Наибольшее количество поступающей информации (80...90 %) человек получает посредством зрения, поэтому характеристики зрения являются самыми важными психофизиологическими показателями человека.

Зрительная способность характеризуется:

- **полем зрения** глаз;
- **остротой зрения** (разрешающей способностью глаз);
- **аккомодацией** (приспособленностью глаз к различению близких и далёких предметов);
- **адаптацией глаз** (приспособленность чувствительности глаза к изменяющимся условиям освещения);
- **цветовым восприятием**.

При конструировании рабочего места оператора необходимо обеспечить оптимальную зону его информационного поля зрения. Под информационным полем понимает пространство рабочего места с размещёнными средствами отображения информации и другими источниками сведений, используемые человеком в процессе трудовой деятельности. Поле зрения человека и зоны доступности элементов управления и индикации изображены на *рисунке 3.14*.



**Рисунок 3.14 - Поле зрения человека и зоны доступности элементов управления и индикации [3]:**

*R* - радиус, определяющий границы зоны доступности руками человека–оператора

**Оптимальная зона** – часть информационного поля, обеспечивающая наилучшее восприятие информации. Важным критерием при организации рабочего места оператора является угол обзора (угол эффективной видимости). По горизонтали он должен составлять 30..40°, а в вертикальной плоскости 30° по отношению к горизонтали (15° вверх и 15° вниз от нормальной линии взора) [26].

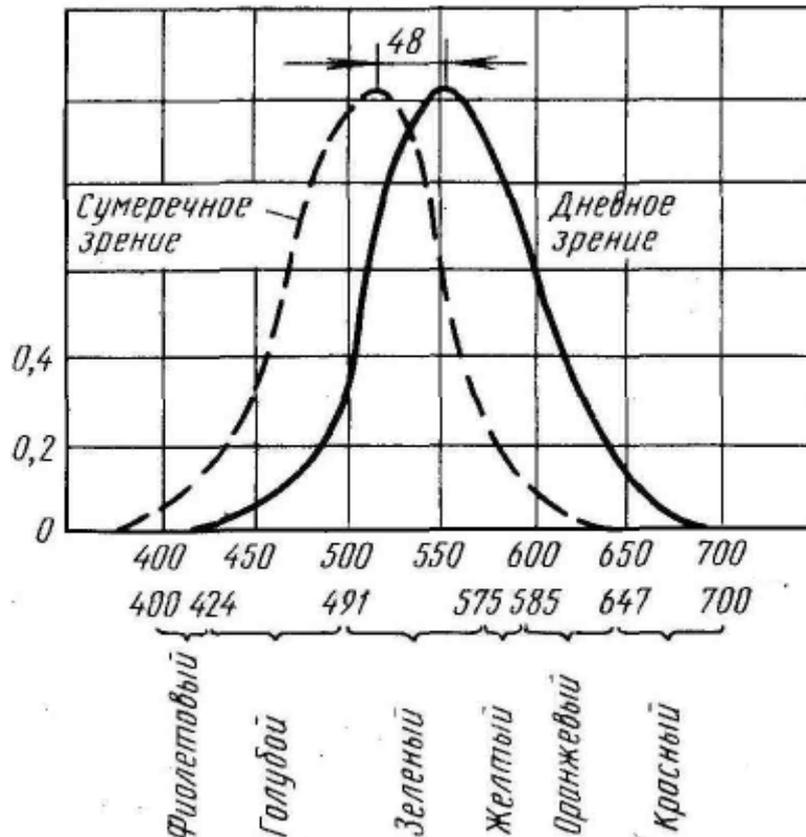
**Разрешающая способность глаз** (острота зрения) характеризуется способностью глаза различать детали предметов, оценивается угловыми единицами и зависит от работающей области глаза, освещенности и подвижности предмета. Она определяет оптимальные размеры знаков на индикаторных панелях ЭА, при которых обеспечивается максимальная точность и скорость восприятия опознавания человеком поступающей информации. Оптимальный размер знаков на средствах отображения зависит от яркости этих знаков, спектрального состава энергии излучения, освещенности, величины и вида контраста фона и знака, сложности графического представления знаков, скорости движения элемента на фоне других, продолжительности зрительного воздействия и ряда других факторов.

**Допустимый угловой размер** букв, цифр и элементов только при учете точности считывания на фоне других знаков составляет 18 – 20'. При одновременном учете точности и скорости опознавания оптимальный размер знаков составляет 35 – 40' [25].

**Аккомодация** глаз оператора в основном зависит от его возраста, так как хрусталик глаза постепенно теряет свою эластичность. В 20 лет глаз аккомодируется к предметам на расстоянии 10 см, в 40 лет – 22 см, в 60 лет – 1 м [3, 25].

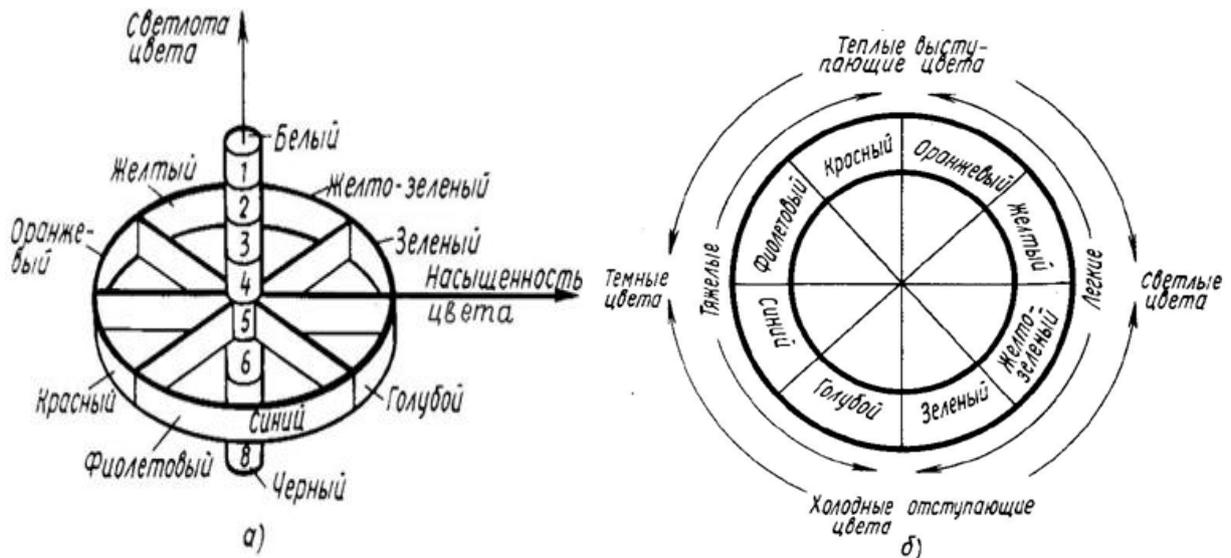
**Адаптация** - это изменение чувствительности глаза под воздействием раздражителей. При переходе из светлого помещения в темное и через час пребывания в темноте чувствительность глаз увеличивается в 200 тыс. раз. Адаптация глаз к условиям темноты характеризуется временем (примерно 20 минут).

**Цветовое восприятие** глаз заключается в способности различать цвета по цветовому тону, насыщенности и светлоте в диапазоне длин волн от 380 до 760 нм. Максимальная относительная чувствительность глаза для дневного (колбочки) зрения и максимальная относительная чувствительность для сумеречного (палочки) зрения наблюдаются при разных длинах световых волн (рисунок 3.15).



**Рисунок 3.15 - Относительная чувствительность глаза для дневного (колбочки) и сумеречного (палочки) зрения [3]**

**Цвет** (рисунок 3.16) ассоциируется у человека с понятием тепла и холода, приближения и отдаления, легкости и тяжести. Цвета, находящиеся на противоположных сторонах цветового круга, называются взаимодополняющими (например, красный и зеленый). Разные цвета оказывают разное физиологическое воздействие.



**Рисунок 3.16 - Цвет и его восприятие [3]:**

*а* – цветочное тело; *б* – цветочный круг; 1-8 – светлота цвета  
(8 – минимальная светлота)

Кроме цвета глаз реагирует на яркость и контраст.

**Яркость** – это характеристика зрительного раздражителя, которая непосредственно оценивается глазом. Диапазон яркостей, при котором возможна работа глаза, очень широк: от  $10^{-4}$  до  $10^8$  кд/м<sup>2</sup>. Оптимальная яркость фона, при которой отмечается наибольшая разрешающая способность зрения, составляет  $10^4$  кд/м<sup>2</sup>.

**Контраст** – это соотношение яркостей предметов. Рекомендуются следующие соотношения яркостей:

- 2:1 – между рабочим полем и ближним фоном;
- 10:1 – между рабочим полем и дальним фоном;
- 50:1 – между самым светлым и самым темным пятнами, попадающими в поле зрения.

**Цветовой тон** характеризуется преобладающей длиной волны в спектре воздействующего сигнала. Общепринято идентифицировать 7 цветов, хотя человек с нормальным зрением может воспринимать их до 150. Точное восприятие цвета зависит от контрастности к цветовому фону.

Наибольшей разрешающей способностью по цвету отличаются следующие комбинации при восприятии знаков:

- синий на белом,
- черный на желтом,
- зеленый на белом,
- черный на белом,
- зеленый на красном,
- красный на желтом.

**Насыщенность** характеризует степень разбавления данного цвета белым.

Например, синий цвет, насыщенностью 20 %, имеет 80 % белого и 20 % чисто синего тона. **Светлота** характеризует количество света отражаемого данной поверхностью. Ахроматические цвета отличаются только по яркости, то есть они отражают разное количество света. Например, белые поверхности отражают 70..90% падающего на них света; чёрные – 3..4%; светло-серые – 50..60%; темно-серые – 15..20%. Человек с нормальным зрением различает по светлоте при повышенной освещенности по 64 цветов, при пониженной – до 20 цветов. Известно, что нормальное цветовое восприятие трихроматично, то есть любой из различимых человеком цветовых тонов можно получить в виде смеси трех независимых цветов: красного, зеленого и синего [25].

**Реакция глаз** характеризуется скоростью ориентации в поле зрения, остротой зрения, аккомодацией, адаптацией, стробоскопичностью, стереоскопичностью [3].

**Скорость ориентации** в поле зрения проявляется при наблюдении предметов, расположенных на различных расстояниях от наблюдателя. Например, требуется от 0.6 до 1.2 с для чёткого различения предметов, если расстояние до них меняется от 0.1 до 0.5 м.

**Стробоскопичность** глаз обусловлена задержкой в восприятии информации. Если информация поступает чаще, чем она может восприниматься, то отдельные ее порции становятся неразличимыми. Глаз различает до 15..20 мерцаний в секунду. Меньшая скорость мерцаний фиксируется глазом как отдельные вспышки, большая - как непрерывный свет. Мерцание изображения утомляет глаза.

**Стереоскопичность** глаз проявляется в том, что человек воспринимает две отдельные картины, хотя при этом может действовать только одно световое раздражение. Стереоскопическое изображение имеет «порог глубины», соответствующий бинокулярному параллаксу 5 угл. с. Радиус стереоскопического зрения 1350..2600 м.

Около 10% внешней информации человек воспринимает за счет **слуха**. Здоровый человек способен воспринимать звуковые колебания в очень широком диапазоне частот: от 16 до 20000 Гц. Степень этого восприятия зависит от многочисленных факторов: уровня громкости, условий восприятия и т.п. Слуховой анализатор человека характеризуется абсолютными характеристиками, пространственными и временными параметрами.

**Громкость** – субъективный аналог интенсивности звука, выражается в децибелах или единицах звуковой энергии ( $\text{Вт/см}^2$ ). Порог слышимости 0 дБ соответствует  $10^{-16} \text{ Вт/см}^2$ . Болевые ощущения оказывает звук громкостью свыше 120 дБ. Существует порог ограничения восприятия звукового сигнала во времени (импульс звука менее 0.05 с не воспринимается). Существует различное ощущение восприятия коротких ( $< 0.15 \text{ с}$ ) и длительных звуков (рисунки 3.17).

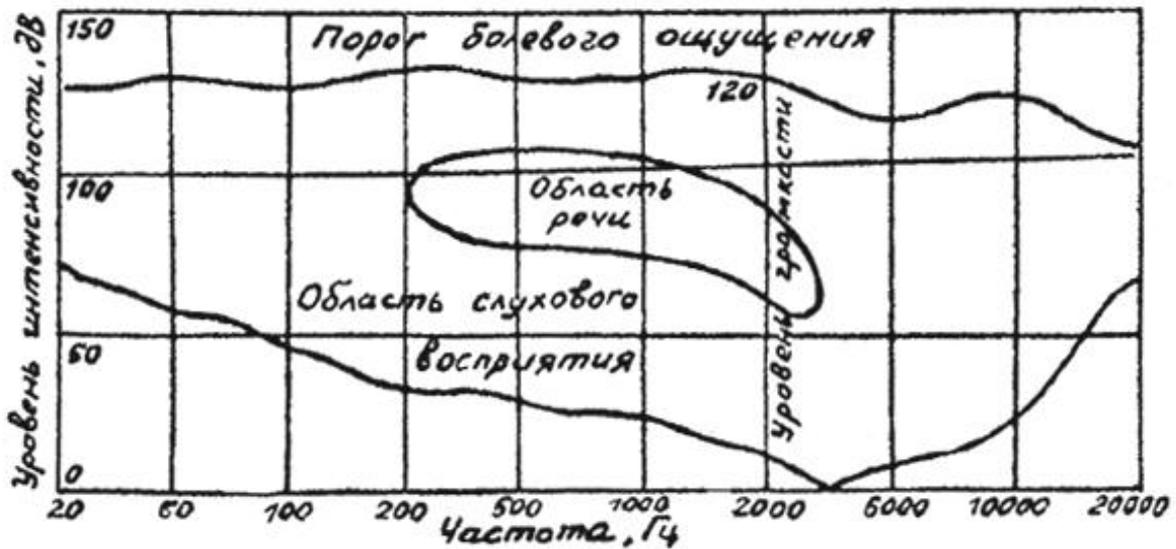


Рисунок 3.17 - Зависимость звукового восприятия человека–оператора от уровня интенсивности и частоты звука [25]

Восприятие внешней информации за счёт тактильной чувствительности человека практически незначительно и использования в практике работы ЧО по сравнению со зрением и слухом не находит. Тактильная чувствительность человека – это способность воспринимать механические раздражения через нервные окончания кожи. При легком касании предмета появляется чувство прикосновения, а при более сильном – чувство давления. Тактильная чувствительность обеспечивает распознавание оператором элементов управления по форме и размерам на ощупь. Тактильная чувствительность зависит от многочисленных внешних факторов среды и от внутреннего состояния человека.

**Эргономика** характеризует участие человека-оператора как звена в приеме и переработке информации в системе управления следующими параметрами:

- быстроедействие;
- точностью;
- надежностью.

**Быстроедействие** оператора на внешнее воздействие определяется реакцией его анализаторов и временем исполнительных действий.

Усредненное время реакции составляет:

- для зрительного анализатора – 0.15...0.22 с;
- для слухового анализатора – 0.12...0.18 с;
- для тактильного анализатора – 0.09...0.22 с.

Наиболее медленная реакция человека на температурное воздействие – 0.28...1.6 с. При работе с дисплеями зрительная реакция оператора зависит от условий наблюдения:

- освещенности фона;
- яркостного контраста между знаком и фоном;

- сложности изображения, угловых размеров и скорости перемещения знаков;

- общего объема информации.

Контрастность между знаком и фоном определяется выражением:

$$K = \frac{B_{\phi} - B_o}{B_{\phi}} \cdot 100\%, \quad (3.13)$$

где  $B_{\phi}$  и  $B_o$  – яркости фона и объекта (знака), кд/м<sup>2</sup>.

Если  $B_{\phi} > B_o$ , то это прямая контрастность, а если  $B_o > B_{\phi}$ , то это обратная контрастность. Величина контраста  $K$  между знаком и фоном должна быть не менее 60%, а рекомендуемое оптимальное значение  $K_{\text{опт}} = (85... 90)\%$ . Чем меньше угловые размеры знаков, тем больше должна быть предусмотренная контрастность знака [25].

Большое значение при проектировании ЭС имеет учет времени реакции (латентный период) того или иного органа восприятия сигналов (таблица 3.3). При увеличении уровня сигнала ( $x$ ) время реакции может уменьшиться в несколько раз. При этом необходимо учитывать, что ощущение человека усиливается пропорционально не абсолютному, а относительному приросту уровня сигнала ( $\Delta x/x$ ). Для света отношение  $\Delta x/x = 0.01$ ; для звука – 0.1. При одновременном воздействии по нескольким каналам (звук, свет, давление, запах и т.д.) скорость реакции увеличивается. Определяющей составляющей быстрогодействия оператора является время исполнительных действий (моторная реакция), величина которого трудно поддается учету в эргономике, так как оно зависит от физиологического состояния человека, пространственного расположения индикаторов и соответствия их органам управления, антропометрических данных человека, усилий прикладываемых к элементам управления и т.д. Это время, как правило, составляет секунды.

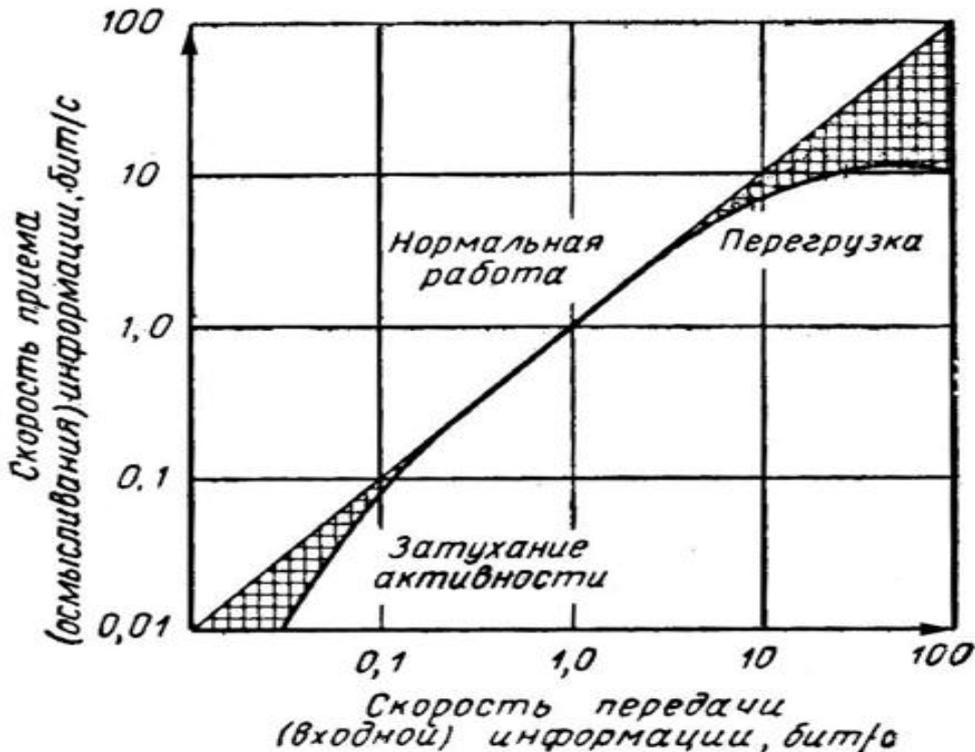
Таблица 3.3

Время реакции ЧО на отдельные сигналы [3]

Анализатор	Латентный период, с	Анализатор	Латентный период, с
Тактильный	0.09 ... 0.22	Температурный	0.28 ... 1.6
Слуховой	0.12 ... 0.18	Вестибулярный	0.4
Зрительный	0.15 ... 0.22	Болевой	0.13 ... 0.89
Обонятельный	0.31 ... 0.39		

**Быстродействие** оператора зависит от его «пропускной» способности по принятию и переработке информации, являющейся индивидуальной характеристикой каждого оператора. Среднее значение этой величины составляет  $\approx 6$  бит/с. Повышение скорости поступления информации требует от

оператора психологической напряженности, приводит к быстрому его утомлению, а слишком низкий темп – к снижению его активности (засыпанию) (рисунок 3.18).



**Рисунок 3.18 - Зависимость скорости приёма и осмысливания информации человеком–оператором от скорости поступления входной информации [16]**

**Точность работы** оператора определяется степенью соответствия выполнения им определенных функций требуемому алгоритму. При количественной оценке точности оператора определяют погрешность между значениями параметра, отображенным на индикаторе, и «считанным» оператором. Точность оператора существенно зависит от характеристик сигнала, сложности задачи, функционального состояния нервной системы, утомляемости, выборе конструкции индикатора и ряда других факторов.

Основной показатель надежности оператора – **вероятность получения им правильного результата**, характеризуется способностью человека в полном объеме выполнять возложенные на него функции. Этот показатель относится к психологическим и отражает соответствие изделия возможностям восприятия и переработки информации ЧО. Правомерность данного показателя применительно к ЧО связана с тем, что информация, получаемая ЧО, не всегда может быть исчерпывающей, кроме того, она по-разному воспринимается людьми и, наконец, целенаправленные действия ЧО не всегда выполняются безошибочно.

Надежность ЧО связана с психической напряженностью, которая определяется степенью функционального комфорта и может быть оценена по до-

пустимым нормам физиологических параметров человека: частоте и ритмичности сердцебиения, кровяному давлению и т.д. Влияние ошибок оператора на точность системы сильнее, чем влияние несовершенства конструкции РЭС. Психическая напряженность ЧО зависит от скорости поступающей информации и от длительности занятости. Различные шумы, вибрации, яркие вспышки и т.п. приводят к утомлению, ухудшается острота зрения и слуха, ослабляется внимание и память, снижается продуктивность мышления и т.д.

В *таблице 3.4* приведены основные характеристики нервно-психической нагрузки человека по вниманию.

Таблица 3.4

**Основные характеристики нервно-психической нагрузки человека по вниманию [3]**

<b>Интенсивность</b>	<b>Число одновременно наблюдаемых объектов, шт.</b>	<b>Время сосредоточенного наблюдения относительно продолжительности смены</b>	<b>Частота сигналов, ч<sup>-1</sup></b>
Легкая	До 4 4..5	До 0.12 0.12 .. 0.25	До 15 35 .. 75
Средняя	5 .. 7 7 .. 10	0.25 .. 0.37 0.37 .. 0.5	75 .. 125 125 .. 175
Тяжелая	10 .. 25	0.5 .. 0.75	175 .. 300
Очень тяжелая	> 25	> 0.75	>300

В заключение отметим, что одним из важнейших условий учета человеческого фактора при проектировании ЭС является неукоснительное выполнение требований нормативно-технических документов по эргономике, направленных на формирование, обеспечение и поддержание требуемого уровня качества изделий, а также на систематическое его повышение. При проектировании ЭС следует учитывать характеристики человека, проявляющиеся в процессе его конкретной трудовой деятельности, учитывать характеристики элементов ЭС, с которыми взаимодействует человек (органов управления, средств отображения информации и т.п.), а также рационально распределять рабочие функции системы «человек–машина» между человеком-оператором и ЭС.

## 4 КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

### 4.1 Основные этапы разработки ЭС

#### 4.1.1 Проведение НИР

Разработка новых или модификация существующих ЭС начинается с этапов научно-исследовательской (НИР), а затем опытно-конструкторской разработок (ОКР). Иногда НИР и ОКР могут быть совмещены в научно-исследовательскую опытно-конструкторскую разработку (НИОКР).

На этапе НИР проводятся всесторонние научно-исследовательские работы, которые должны подтвердить возможность создания или модификации ЭС. Результатом НИР обычно является научно-технический отчет, в котором содержатся выводы и рекомендации о принципах построения ЭС, на основании теоретических и экспериментальных исследований приводятся алгоритмы функционирования узлов, систем и ЭС в целом, доказана адекватность полученных теоретических результатов физической реальности параметров средства. Как правило, в результате проведения НИР вырабатываются требования к **Техническому заданию (ТЗ)** на ОКР ЭС. НИР может иметь и отрицательный результат, показывающий, что на современном уровне развития науки и техники реализация поставленной задачи невозможна.

#### 4.1.2 Проведение ОКР

Решение о проведении ОКР принимается, как правило, на основании результатов НИР является процессом воплощения теоретических результатов в схемы и конструкцию и, в конечном итоге, в готовое изделие.

На этапе ОКР на первый план выступают экономические задачи, т.к. именно здесь формируется основная конструкция ЭС, влияющая как на ее стоимость в целом, так и на длительность и стоимость ее разработки.

Как правило, результатом ОКР является представление опытных образцов изделий, которые должны пройти заводские испытания, а в ответственных случаях - государственные испытания (бортовая, морская, космическая и наземная электронная аппаратура - ЭА).

На основании заводских и государственных испытаний делается заключение о начале производства данного ЭС.

В соответствии с ГОСТ 2.103-68 НИР и ОКР включают стадии, приведенные в *таблице 4.1*.

Рассмотрим кратко характеристики каждой стадии разработки ЭС.

**Техническое задание** – стадия, на которой разрабатывается, составляется и утверждается техническое задание на проектирование разработку, изготовление, испытания и выпуск изделия.

Таблица 4.1

### Стадии разработки НИР и ОКР

Стадия разработки	Этапы выполнения работ
Техническое предложение	Подбор материалов. Разработка технического предложения с присвоением документам литеры «П».
Эскизный проект	Рассмотрение и утверждение технического предложения Разработка эскизного проекта с присвоением документам литеры «Э». Изготовление и испытание материальных макетов (при необходимости) и (или) разработка, анализ электронных макетов (при необходимости) Рассмотрение и утверждение эскизного проекта.
Технический проект	Разработка технического проекта с присвоением документам литеры «Т». Изготовление и испытание материальных макетов (при необходимости) и (или) разработка, анализ электронных макетов (при необходимости). Рассмотрение и утверждение технического проекта.
Рабочая конструкторская документация: а) опытного образца (опытной партии) изделия, предназначенного для серийного (массового) или единичного производства (кроме разового изготовления)	Разработка конструкторской документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии), без присвоения литеры. Изготовление и предварительные испытания опытного образца (опытной партии). Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением документам литеры «О». Приемочные испытания опытного образца (опытной партии). Корректировка конструкторской документации по результатам приемочных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением документам литеры «О <sub>1</sub> ». При необходимости, - повторное изготовление и испытания опытного образца (опытной партии) по документации с литерой «О <sub>1</sub> » и корректировка конструкторских документов с присвоением им литеры «О <sub>2</sub> ».
б) серийного (массового) производства	Изготовление и испытание установочной серии по документации с литерой «О <sub>1</sub> » (или «О <sub>2</sub> ») Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия, с присвоением конструкторским документам литеры «А». Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, - изготовление и испытание головной (контрольной) серии по документации с литерой «А» и соответствующая корректировка документов с присвоением им литеры «Б»

ТЗ составляется должно содержать, как минимум, следующие разделы:

- наименование и область применения;
- основание для разработки;
- цель и назначение разработки;
- источники разработки;
- технические требования;
- экономические показатели;

- стадии и этапы разработки;
- порядок контроля и приемки.

ТЗ должно содержать основное назначение, тактико-технические характеристики, показатели качества, надежности и экономические показатели. В ТЗ указываются специальные, конструктивные, технологические, эксплуатационные требования. Как правило, ТЗ разрабатывают и согласовывают совместно Разработчик и Заказчик, но ведущая роль принадлежит Разработчику.

После утверждения ТЗ руководителями организаций Заказчика и Разработчика (Исполнителя) приступают к выполнению следующей стадии разработки ЭС – техническому предложению (ПТ).

**Техническое предложение** представляет собой совокупность КД, в которых отображаются различные варианты схемного и конструкторского построения разрабатываемой ЭС и дается сравнительная оценка этих вариантов между собой и с аналогами отечественного и зарубежного исполнения. Полный объем работ и требований к этапу определяет ГОСТ 2.118-73.

На стадии технического предложения проводится технико-экономическое обоснование целесообразности проведения разработки. Основное в ПТ – построение и обоснование выбора структурной (функциональной) схемы ЭС, из которой должна быть видна картина функционирования и взаимодействия всех основных блоков и устройств по каждому варианту. Проверяется патентная чистота и конкурентоспособность, оформляются заявки на изобретения, изготавливаются макеты и проводятся натурные испытания, оформляется комплект КД с литературой «П».

После согласования и утверждения ПТ в установленном порядке оно является основанием для разработки эскизного проекта (ЭП).

**Эскизный проект** – совокупность КД, содержащих принципиальные и конструктивные решения, общие представления об устройстве и принципах работы ЭС, о данных по назначению, по основным параметрам и массогабаритным показателям. Полный объем требований к ЭП устанавливает ГОСТ 2.119-73.

В общем случае объем работ на стадии ЭП следующий:

- выполняются варианты возможных решений и их конструктивная проработка;
- решают предварительные вопросы упаковки и транспортировки узлов, блоков и ЭС в целом;
- изготавливают и испытывают макеты с целью проверки принципов работы или основных частей ЭС;
- проверяют соответствие вариантов построения ЭС требованиям техники безопасности (ТБ) и промышленной санитарии (ПС);
- выбирают оптимальные варианты построения ЭС;
- выявляют использование новых материалов и изделий, которые должны быть изготовлены сторонними организациями, составляют ТЗ на них;

- проверяется патентная чистота и конкурентоспособность, оформляются заявки на изобретения;

- прорабатывают основные вопросы технологии изготовления ЭС по показателям стандартизации и унификации, по эргономическим и эстетическим характеристикам;

- изготавливаются макеты и проводятся натурные испытания;

- выбирается оптимальный вариант построения ЭС;

- оформляют комплект КД с литературой «Э».

После согласования и утверждения ЭП в установленном порядке он служит основанием для разработки технического проекта (ТП).

**Технический проект** – совокупность КД, содержащих окончательные технические решения и дающих полное представление об устройстве и составе ЭС. Полный объем требований к техническому проекту устанавливает ГОСТ 2.120-73.

В общем случае на стадии технического проекта проводят следующие работы:

- разработку конструктивных решений ЭС и ее составных частей;

- выполнение необходимых расчетов;

- выполнение необходимых принципиальных схем, схем соединений;

- разработку и обоснование технических решений и надежности;

- анализ конструкции ЭС на технологичность в условиях данного производства;

- разработку и испытание макетов;

- оценку эксплуатационных данных (ремонтпригодность, устойчивость против внешних воздействий, взаимозаменяемость, контроль качества и др.);

- оценку возможностей транспортировки, хранения, монтажа на месте применения ЭС;

- согласование необходимых габаритных, установочных и присоединительных размеров с Заказчиком или основным потребителем;

- проверяется патентная чистота и конкурентоспособность, оформляются заявки на изобретения;

- оценку технического уровня и качества и определения покупных изделий;

- разработку чертежей сборочных единиц и деталей;

- окончательную проработку на соответствие ЭС требованиям техники безопасности и промышленной санитарии;

- оформление КД с литературой «Т».

После согласования и утверждения технического проекта в установленном порядке он служит основанием для разработки рабочего проекта.

На стадии разработки **«Рабочая конструкторская документация»** осуществляется создание и отработка полного комплекта КД на ЭС (см. ГОСТ 2.102-68).

В начале стадии разрабатывается КД для изготовления и испытания опытного образца изделия. Этим документам литера не присваивается, т.е.

изготовление опытного образца ведется по «безлитерной» документации. Опытный образец изготавливается с целью:

- окончательного определения технических характеристик аппаратуры в процессе проведения испытаний;
- проверки показателей эксплуатационной надежности (помехозащищенности, радиационной стойкости, ремонтпригодности) РЭС и безопасности его эксплуатации;
- проверки и отработки технической документации;
- определения необходимости составления дополнительной документации (инструкций по настройке, монтажу, регулировке и др.) для изготовления опытной партии, эксплуатации и ремонта изделия.

По результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца **КД корректируется**, и только теперь на ней **проставляется литера «О»**.

В процессе изготовления ЭС проводятся приемочные испытания отдельных функциональных узлов и блоков, а после их изготовления – приемочные испытания опытного образца по электрическим, механическим, климатическим, радиационным и другим требованиям. Испытания проводятся представителями отдела технического контроля (ОТК) предприятия-разработчика и представителями Заказчика в соответствии с ТЗ и составленными в процессе разработки техническими условиями (ТУ) на ЭС. ТУ в обязательном порядке входят в состав КД, передаваемой впоследствии на завод-изготовитель.

По результатам приемочных испытаний ЭС **КД корректируется** и в ней **проставляется литера «О<sub>1</sub>»**, а в случае повторного изготовления и испытания – **литера «О<sub>2</sub>»**. По документации с литерой О<sub>1</sub> или О<sub>2</sub> на заводе-изготовителе организуется выпуск установочной серии изделия. По результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса КД вновь корректируется, документам **присваивается литера «А»**. По документации с литерой «А» ведется установившееся серийное (массовое) производство.

Представленные этапы и стадии разработки характерны для сложных ЭС. При разработке простых ЭС либо при модернизации изделия ряд стадий может быть опущен, и это должно быть отражено в ТЗ. Кроме того, ОКР может проводиться без предварительной НИР, например, если осуществляется совершенствование имеющегося ЭС на основе известных принципов.

В процессе изготовления, испытаний и эксплуатации ЭС часто возникает необходимость в корректировке принципиальных, монтажных схем и других КД. Эти изменения вносят и оформляют согласно ГОСТ 2.503-74.

Стадии разработки конструкторской документации установлены ГОСТ 2.103-68; виды конструкторских документов – ГОСТ 2.102-68, 2.701-84, 2.601-68, 2.602-68.

## 4.2 Комплектность конструкторской документации

ГОСТ 2.102-68 «ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов» является основным стандартом, регламентирующим номенклатуру конструкторских документов и дающим возможность выбрать для разрабатываемого изделия минимальный комплект конструкторских документов в зависимости от его вида и стадии разработки. Комплектность конструкторских документов (КД) для каждой стадии разработки конструкторской документации устанавливаются также стандарты 2.118-73 ... 2.120-73, 2.601-68, 2.602-68 и техническое задание на разрабатываемое изделие (*таблица 4.2*).

В приведённую выше таблицу входят **графические** и **текстовые КД**, назначение которых кратко описано в [3, 7, 11].

К графическим КД относятся:

- **чертеж детали**<sup>17</sup> (кода не имеет) – изображение детали и данные, необходимые для ее изготовления и контроля;

- **сборочный чертеж** (код вида документа - **СБ**) – изображение **сборочной единицы** с необходимыми данными для ее сборки (изготовления) и контроля;

- **сборочная единица** – изделие<sup>18</sup>, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями;

- **чертеж общего вида (ВО)** – изображение конструкции изделия, дающее представление о принципе его работы и взаимодействии составных частей; на этом чертеже приведены также основные технические характеристики изделия (ГОСТ 2.119);

- **теоретический чертеж (ТЧ)** – геометрическая форма (обводы) изделия и координаты расположения его основных частей;

- **габаритный чертеж (ГЧ)** – упрощенное (контурное) изображение изделия с указанием габаритных, установочных и присоединительных размеров;

- **электромонтажный чертеж (МЭ)** – документ, содержащий данные для выполнения электрического монтажа изделия;

- **монтажный чертеж (МЧ)** – контурное (упрощенное) изображение изделия, содержащее необходимые данные для его монтажа (установки) на месте применения;

- **упаковочный чертеж (УЧ)** – документ, содержащий данные для упаковки изделия;

- **схема** – условные изображения или обозначения составных частей изделия и связей между ними.

<sup>17</sup> **деталь** - изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций.

<sup>18</sup> **изделие** - любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии (согласно ГОСТ 2.101-68).

**Таблица 4.2**

**Комплекты КД, разрабатываемых на различных этапах проектирования РЭС [3, 7]**

Наименование документа	Шифр	Техническое предложение	Эскизный проект	Технический проект	Рабочая документация		
					детали	сборочные единицы	комплексы
Чертеж детали	–	–	–	+	●	–	–
Сборочный чертеж	СБ	–	–	–	–	●	–
Чертеж общего вида	ВО	+	+	●	–	–	–
Теоретический чертеж	ТЧ	–	+	+	+	+	+
Габаритный чертеж	ГЧ	+	+	+	+	+	+
Монтажный чертеж	МЧ	–	–	–	–	+	+
Схемы	–	+	+	+	–	+	+
Спецификация	СП	–	–	–	–	●	●
Ведомость спецификаций	ВС	–	–	–	–	+	+
Ведомость ссылочных документов	ВД	–	–	–	–	+	+
Ведомость покупных изделий	ВП	–	+	+	–	+	+
Ведомость согласования применения изделия	ВИ	–	+	+	–	+	+
Ведомость держателей подлинников	ДП	–	–	–	–	+	+
Ведомость технического предложения	ПТ	●	–	–	–	–	–
Ведомость эскизного проекта	ЭП	–	●	–	–	–	–
Ведомость технического проекта	ТП	–	–	●	–	–	–
Пояснительная записка	ПЗ	●	●	●	–	–	–
Технические условия	ТУ	–	–	–	+	+	+
Программа и методика испытаний	ПМ	–	+	+	+	+	+
Таблицы	ТБ	+	+	+	+	+	+

## Окончание таблицы 4.2

Наименование документа	Шифр	Техническое предложение	Эскизный проект	Технический проект	Рабочая документация		
					детали	сборочные единицы	комплексы
Расчеты	РР	+	+	+	+	+	+
Патентный формуляр	ПФ	+	+	+	+	+	-

Примечание к таблице 4.2:

- – обязательный документ;
- «+» – документ, составляемый по усмотрению разработчика;
- «-» – документ не составляется.

Примеры выполнения приведённых выше графических документов приведены в соответствующих стандартах, а также в справочнике [11].

К текстовым документам относятся:

- **спецификация** (кода не имеет) – документ, определяющий состав сборочной единицы, комплекса<sup>19</sup>, комплекта<sup>20</sup>;
- **ведомость спецификаций (ВС)** – содержит перечень всех спецификаций составных частей с указанием их количества и входимости;
- **ведомость ссылочных документов (ВД)** – содержит перечень документов, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделий;
- **ведомость покупных изделий (ВП)** – содержит перечень покупных изделий, применяемых в разрабатываемом изделии;
- **ведомость разрешений применения покупных изделий (ВИ)** – содержит перечень покупных изделий, разрешенных к применению в соответствии с ГОСТ 2 124-85;
- **ведомость держателей подлинников (ДП)** – перечень предприятий (организаций), на которых хранятся подлинники документов, применяемых в данном изделии;
- **ведомости технического предложения (ПТ), эскизного проекта (ЭП), технического проекта (ТП)** – перечень надлежащих документов;
- **пояснительная записка (ПЗ)** – описание устройства и принципа действия разрабатываемого изделия, а также обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений;
- **технические условия (ТУ)** – содержат совокупность всех требований к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке ГОСТ 2.114-70;

<sup>19</sup> **комплекс** - два и более изделия (состоящие, в свою очередь, из двух и более частей), не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций

<sup>20</sup> **комплект** - два и более изделия, не соединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера

- **программа и методика испытаний (ПМ)** – содержит технические данные, подлежащие проверке, а также порядок и методы испытаний и контроля;

- **эксплуатационные документы** – правила эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия в процессе эксплуатации (ГОСТ 2.601-95 – «Эксплуатационные документы»);

- **ремонтные документы** – содержат данные для проведения ремонтных работ на специализированных предприятиях (ГОСТ 2.602-95 – «Ремонтные документы»).

**Пояснительная записка (ПЗ)** составляется по окончании работ на всех стадиях проектирования и включает в себя следующие разделы:

- **введение** (содержит наименование, номер и дату утверждения ТЗ);

- **назначение и область применения** (содержит сведения из ТЗ, а также конкретизирующие и дополняющие их сведения по области и условиям применения изделия, основные данные по обеспечению стабильности показателей качества в условиях эксплуатации);

- **технические характеристики** (содержат основные (из ТЗ) и дополнительные к ТЗ тактико-технические характеристики, сведения о соответствии или обоснованных отклонениях от требований ТЗ, данные сравнения характеристик отечественных и зарубежных аналогов, результаты анализа технического уровня и качества);

- **описание и обоснование выбора конструкции** (содержит описания и анализ рассмотренных вариантов конструктивных и научно-технических решений<sup>21</sup>, в том числе, на патентную чистоту и конкурентоспособность изделия, сведения об использованных изобретениях и заявках, справочные сведения по основным КД, результатам испытаний, требованиям ТБ и ПС);

- **расчеты** (содержат ориентировочные (на стадиях ПТ и ЭП) и окончательные (на стадии ТП) расчеты (кинематические, электрические, тепловые, компоновочные, надежности, ремонтпригодности и пр.));

- **выводы** (содержат краткий перечень основных результатов работ и рекомендаций о дальнейших действиях по проектированию или выпуску изделия).

При определении комплектности КД на изделия следует различать:

- **основной КД;**

- **основной комплект КД;**

- **полный комплект КД** (рисунок 4.1).

За **основные КД** принимают:

- для деталей – **чертеж детали;**

- для сборочных единиц, комплексов или комплектов – **спецификацию.**

<sup>21</sup> В ПЗ эскизного проекта рассматривается дополнительно соответствие макетов требованиям эргономики

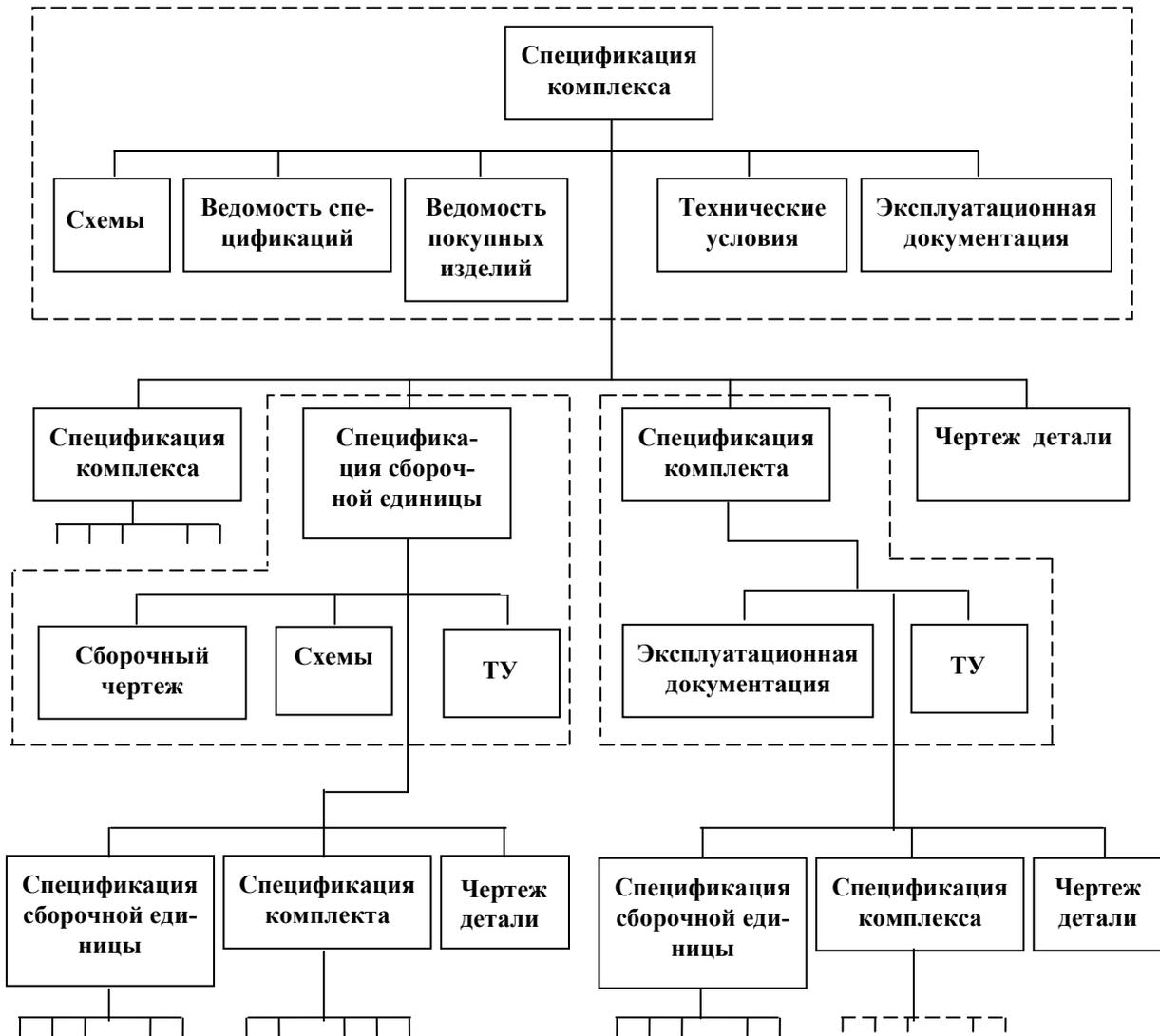


Рисунок 4.1 - Пример формирования полного КД

**Основной комплект КД изделия** – это комплект КД, относящихся ко всему изделию в целом. Например, основной комплект КД приемного устройства включает: спецификацию, сборочный чертеж, схему электрическую принципиальную, схему электрическую функциональную, технические условия, эксплуатационные документы и другие документы, относящиеся ко всему приемному устройству в целом.

Если данное изделие входит в состав другого, более сложного изделия, то в спецификацию и другие документы этого более сложного изделия записывают обозначение основного КД данного изделия. Изделие, примененное по КД, выполненным в соответствии со стандартом ЕСКД, записывают в документы других изделий, в которых оно применено, с использованием обозначения основного КД этого изделия. Считается, что такое изделие *применено по своему основному КД*. КД составных частей в основной комплект документов изделия не входят.

**Полный комплект КД изделия** включает:

- 1) основной комплект КД на данное изделие;
- 2) основные комплекты КД всех составных частей, входящих в состав данного изделия;
- 3) основные комплекты КД всех составных частей, входящих в части, упомянутые в п.2 и т.д.

Рассмотренная выше документация подразделяется на проектную и рабочую. К **проектной документации** относятся документы технического предложения, эскизного и технического проектов, а **рабочая документация** составляется на детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты и предназначена непосредственно для изготовления, эксплуатации и ремонта изделия [7].

Документы, в зависимости от характера их выполнения и использования, делятся на **оригиналы, подлинники, дубликаты и копии** [11].

**Оригинал** – документ, выполненный на любом материале и предназначенный для изготовления по нему подлинника.

**Подлинник** – документ, оформленный подлинными установленными подписями и выполненный на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение с него копий. Допускается в качестве подлинника использовать оригинал, копию подлинника или экземпляр документа изданного типографским способом и заверенного подлинными подписями лиц, разработавших данный документ и ответственных за нормоконтроль.

**Дубликат** – копия подлинника, обеспечивающая идентичность воспроизведения подлинника, выполненного на любом носителе, позволяющем снятие с него копий.

**Копия** – документ, выполненный способом, обеспечивающим его идентичность с подлинником (дубликатом), и предназначенный для непосредственного использования при разработке, производстве, эксплуатации и ремонте изделий.

При разработке изделий с применением систем автоматизированного проектирования (САПР) наряду с ЕСКД следует также руководствоваться стандартами ЕСПД (Единая система программной документации), ЕСТПП (Единая система технологической подготовки производства) и др. Так, межгосударственные стандарты ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения» и ГОСТ 23501.101-87 «Системы автоматизированного проектирования. Основные положения» устанавливают правила разработки, согласования и утверждения технического задания, технического предложения, эскизного проекта, технического проекта, предварительных исследований, документов рабочего проекта, общие требования к программному обеспечению, банкам данных, диалоговым средствам, техническому обеспечению.

### 4.3 Конструкции электронных средств

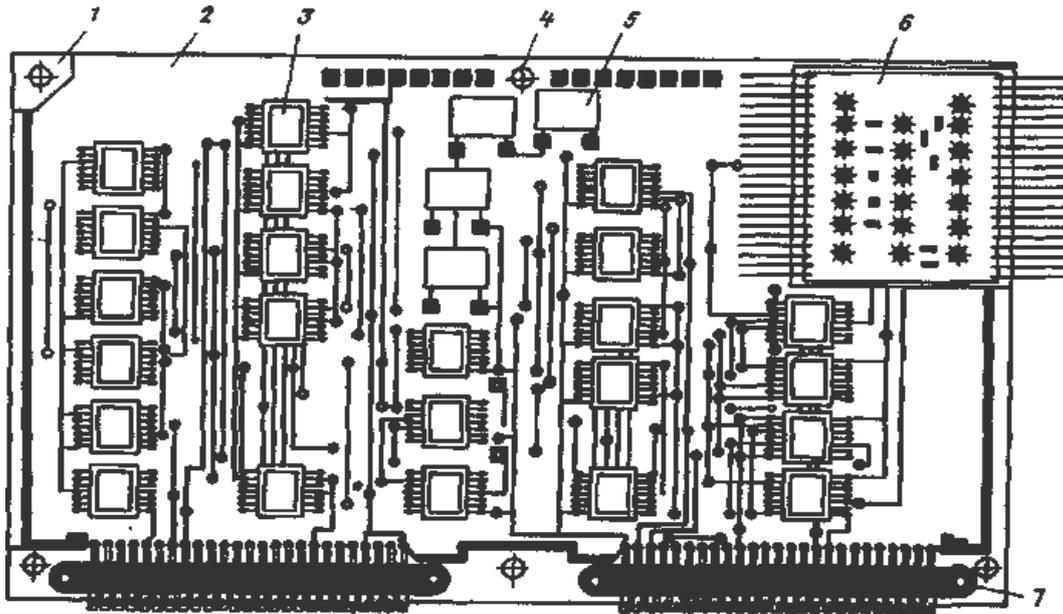
#### 4.3.1 Современные и перспективные конструкции электронных средств – ячеек, модулей, блоков, шкафов

В конструкциях ЭС **I поколения** на электронных лампах (*рисунок 2.1*), 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) элементов/см<sup>3</sup>.

При крупносерийном производстве перешли к расчленению всей конструкции на унифицированные функциональные узлы – УФУ, выполненные в виде плоских и объёмных модулей и микромодулей (*рисунки 2.2 - 2.4*).

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 элементов/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  $10^{-6} \text{ ч}^{-1}$  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) элементов/см<sup>3</sup>; в объёмных модулях – (0.7...0.9) элементов/см<sup>3</sup>; в микромодулях – (4...10) элементов/см<sup>3</sup>; в блоке – (0.05...2.5) элементов/см<sup>3</sup>; в стойке (шкафу) – (0.02...0.5) элементов/см<sup>3</sup> [2, 3].

**Третье поколение** ЭС выпускается примерно с 1962 года и характеризуется (*рисунок 4.2*) применением корпусированных ИС первой и второй степени интеграции (малых ИС – МИС) и миниатюрных ЭРЭ на двусторонних или на многослойных печатных платах с высокой разрешающей способностью – до 0.3 мм.



**Рисунок 4.2 - 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

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

$$K = \lg N. \quad (4.1)$$

Согласно формуле (4.1) в ИС первой и второй степени интеграции содержится от 10 до 100 элементов и компонентов. Конструкции, подобные изображённой на *рисунке 4.2*, наиболее характерны для цифровых устройств; они 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: лёгкость съёмности и ремонтпригодность, сравнительно лёгкий 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, III и IV поколений (*таблица 4.3*). 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) элементов/см<sup>3</sup>; в

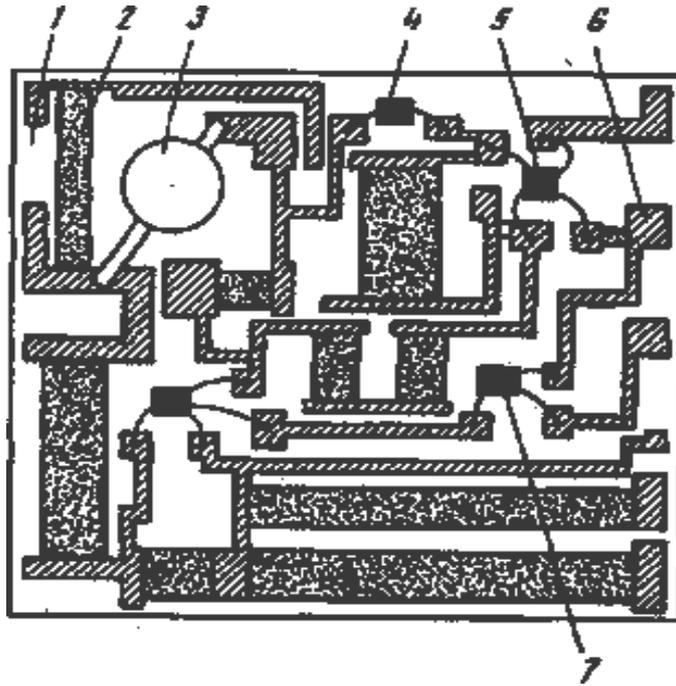
функциональных ячейках на полупроводниковых ИС (100..500) элементов/см<sup>3</sup>; в блоке – (3.5..10) элементов/см<sup>3</sup>; в стойке (шкафу) – (0.5..2) элементов/см<sup>3</sup> [2, 3].

**Таблица 4.3**

**Сопоставление ЭС на дискретных ЭРЭ и интегральных ЭС [2]**

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
Частотно-избирательные узлы индуктивно-емкостного типа на дискретных катушках индуктивности и конденсаторах	Активные РС-фильтры, интегральные пьезофильтры, 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, микропроцессорах
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 (*рисунк 4.3*).



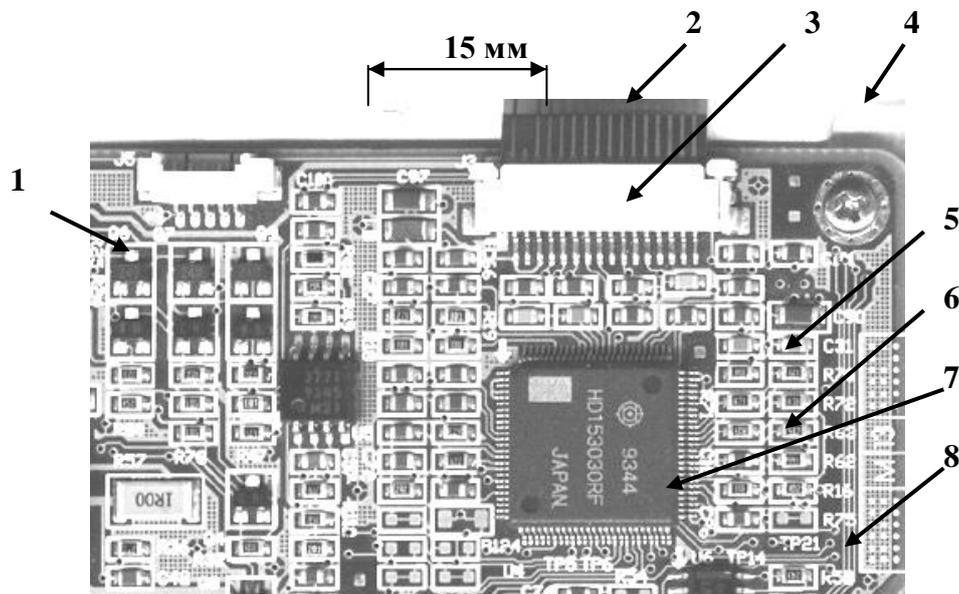
**Рисунок 4.3 - Конструкция бескорпусной тонкопленочной микросборки четвертого поколения [2]:**

1- ситалловая подложка; 2 - тонкопленочный резистор; 3 - стабилитрон; 4, 5, 7 - бескорпусные диод, ИС, транзистор, соответственно; 6 - контактная площадка

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 4.2, 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 **четвертого поколения** велика (больше чем  $100$  элементов/ $\text{см}^3$  в блоках и больше чем  $1500$  элементов/ $\text{см}^3$  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 4.4*, а конструкция герметичного блока ЭС IV поколения на *рисунке 4.5*.



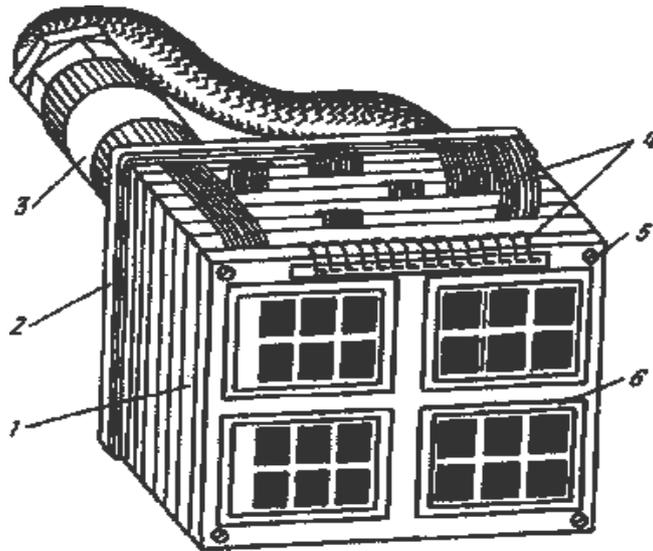
**Рисунок 4.4 - Фрагмент конструкции компьютерной функциональной ячейки IV поколения (производства японской фирмы *Quantum*), выполненной по принципам монтажа на поверхность.**

Элементы, предназначенные для технологии монтажа на поверхность (ТМП элементы): 1 - ТМП- транзистор; 2 – печатный гибкий кабель; 3 - ТМП-разъём ; 4 - фрагмент металлической рамки для крепления печатной платы; 5 - ЧИП-конденсатор; 6 - ЧИП-резистор; 7 - микропроцессорная микросборка; 8 - печатная плата

Общие тенденции развития конструкций ЭС:

- миниатюризация элементов и компонентов конструкций ЭС и повышение их надежности;
- унификация и стандартизация функциональных узлов;
- непрерывный рост интеграции конструкций и внедрение элементов и узлов функциональной электроники;
- 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. Конструкции таких устройств, выполненные по принципам монтажа на поверхность и интеграции на целой пластине, можно отнести к **V поколению** [2, 3].



**Рисунок 4.5 - Конструкция герметичного блока ЭС IV поколения (корпус условно снят) [2]:**

1 - функциональная ячейка; 2 - металлическое основание; 3 - соединитель; 4 - проволочный монтаж; 5 - винт крепления; 6 - бескорпусная микросборка

Иногда конструкции ЭС одновременно имеют признаки разных поколений. Например, в конструкции ячейки IV поколения, показанной на *рисунке 4.4*, её исполнение по принципам монтажа на поверхность можно отнести к признакам конструкции V поколения.

Дадим краткий обзор элементной базы ЭС для техники поверхностного монтажа. Электрорадиоэлементы (ЭРЭ) поверхностного монтажа в отечественной литературе называют компонентами, монтируемыми на поверхность (КПМ, КМП или чипами), а обычные ЭРЭ – компонентами, монтируемыми в отверстия (КМО). Технологию поверхностного монтажа называют в разных источниках ТПМ или ТМП [2, 34 - 36]. До интеграции России в мировое сообщество в сфере производства РЭА в отечественной аппаратуре применялись лишь электронные компоненты и технологии отечественной разработки. Однако в последнее десятилетие в России наряду с отечественным оборудованием широко используют КПМ и оборудование для ТПМ, разработанные самыми разными фирмами мира.

Отличительной особенностью ТПМ при пайке волной является то, что не только выводы, но и поверхности КПМ на короткое время омываются волной припоя. Отличительной особенностью ТПМ при использовании печей (установки инфракрасной пайки или печи с конвекционным нагревом) является кратковременный нагрев воздуха вблизи поверхности КПМ до температуры, при которой паяльная паста, нанесенная на контактные площадки печатной платы, оплавляет контакты КПМ. При этом из паяльной пасты вытекает флюс и образуется припой, который растекается в форме, изображенной на *рисунке 4.6*, и поднимает КПМ над поверхностью печатной платы (в слу-

чае, когда КПМ был предварительно приклеен к плате только за счет паяльной пасты) [35].



**Рисунок 4.6 - Образование пьедестала из припоя при оплавлении разогретой паяльной пастой контактов КПМ [35]**

Среди рекомендуемых методов пайки наиболее приемлемым считается метод расплавленного дозированного припоя (РДП). Плата с приклеенными компонентами помещается в рабочую зону контейнера и предварительно нагревается, затем при подаче насыщенного пара фторосодержащей жидкости плата нагревается до  $215^{\circ}\text{C}$ , пар конденсируется на ее поверхности, отдает тепло, припой расплавляется и образует паяное соединение. За один цикл можно припаять одновременно до тысячи и более ИС на платах, причем качество пайки будет намного выше качества ручной пайки. Другой, менее распространенный, метод расплавленного дозированного припоя излучением (РДПИ) осуществляется с помощью ламп с вольфрамовой нитью накала ( $\lambda = 1.2...2.5$  мм) в инертной среде во избежание окисления [2].

В конце XX – начале XXI века технология поверхностного монтажа ЭРЭ занимает лидирующее место в технологии производства электронной аппаратуры и является наиболее перспективным способом повышения производительности труда, сокращения веса и габаритов электронной аппаратуры, улучшения ее конструкции и функциональных характеристик.

В 1983 г доля производства КМП составляла всего 1% от общего производства компонентов. В 1990 г выпуск КМП вырос до 40%, правда стоимость КМП была на 25-50% выше стоимости аналогичных изделий в корпусах для монтажа в отверстия. Выпуск отечественных ЧИП-резисторов освоен в 1985 г. В настоящее время поверхностный монтаж занимает ведущие позиции в технологии производства компонентов. Цены на КМП стали соизмеримы и даже ниже цен на традиционные компоненты, а конструкции с КМП намного легче аналогичных конструкций на КМО.

Всего несколько лет назад ЧИП-компоненты выпускались в корпусах 1206 (3.2мм×1.6мм); 1210 (3.2мм×2.5мм) и 1812 (4.5мм×3.2мм). Однако уже сейчас широко используются корпуса 0402 (1.0мм×0.5мм). Выпускаются ЧИП-компоненты в корпусах 0201 (500мкм×250мкм) и ЧИП-резисторы в

корпусе 0101 (всего 250мкм×250мкм). Для указания геометрических размеров ЧИП-корпусов используется краткая форма обозначения, например: 0805 означает, что компонент имеет длину 0.08 дюймов (2.032 мм) и ширину 0.05 дюймов (1.27 мм). Эта форма обозначения рекомендована международными стандартами (МЭК, JEDEC) [21- 23].

Стандартных форм записи зарубежных ЧИП-корпусов в конструкторской документации не существует. ЗАО «Остек» рекомендует универсальную форму записей ЧИП-компонентов в технической документации:

Типоразмер	Номинал	Допуск	Дополнительные характеристики	
<u>ЧИП-резисторы:</u>				
0805	10кОм	5%	0,125Вт	Упаковка
<u>ЧИП-конденсаторы:</u>				
0603	180пФ 50 В NPO	5%		Упаковка

Такая форма записи даёт полное представление о КПП независимо от фирмы-производителя, кроме того, понятна всем – и разработчикам, и снабженцам, и технологам.

Для монтажа на поверхность пригодны любые миниатюрные компоненты, которые, кроме основных требований, удовлетворяют двум дополнительным требованиям:

- выдерживают жёсткие технологические воздействия, обусловленные групповыми методами пайки (в паровой фазе, ИК-нагревом, погружением в расплавленный припой при пайке волной);

- пригодны для автоматизированного монтажа.

Если второе требование не является чем-то необычным для компонентов, монтируемых в отверстие, то более жёсткие технологические воздействия резко ограничили или сделали практически невозможным применение для поверхностного монтажа большинства КМО. Разработка компонентов, монтируемых на поверхность, ведётся в настоящее время в двух направлениях:

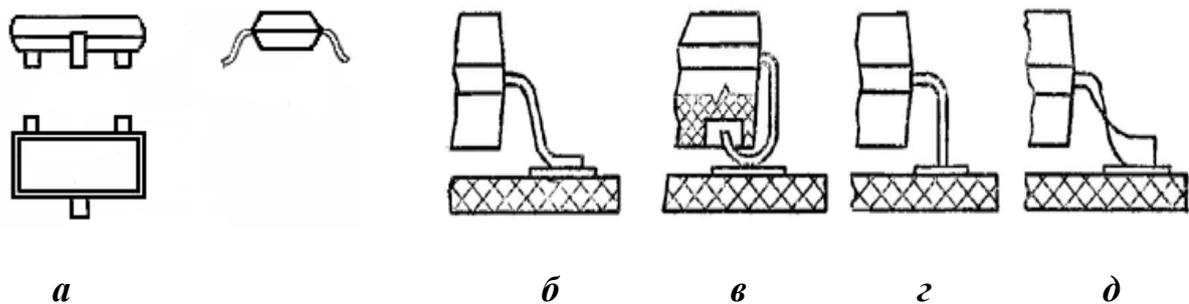
- путём доработки существующей элементной базы до требований ТМП;

- путём разработки новых приборов, не имеющих аналогов в КМО исполнении.

Примером первого направления является доработка резисторов типа P1-12 и конденсаторов K10-17 до требований КМП, второго – разработка КМП-переключателей, катушек индуктивности, реле. Для полупроводниковых приборов и интегральных микросхем переход к ТМП исполнению осуществляются упаковкой (капсулированием) кристаллов в корпуса, конструкция и материал которых удовлетворяют требованиям ТМП (корпуса типа SOT, SOIC, PLCC, QFP и другие зарубежные разработки) [34-36]. Конструк-

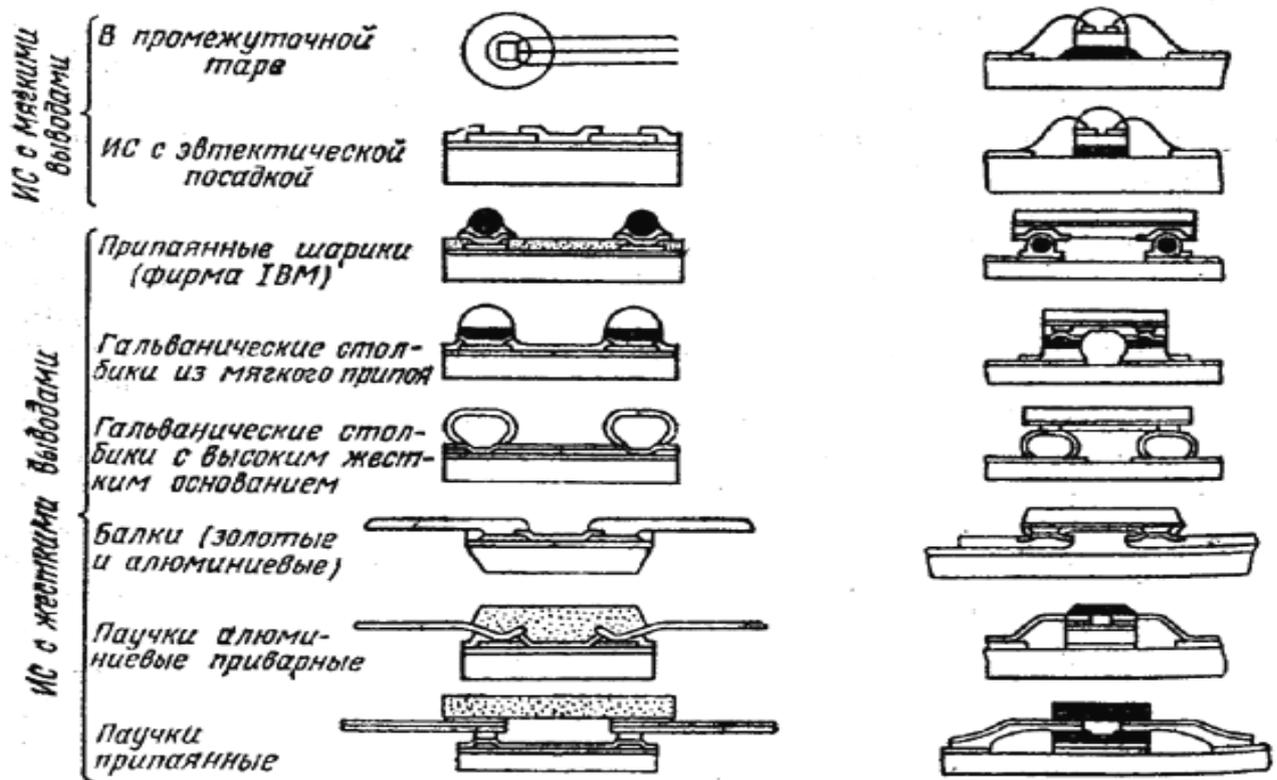
ции корпусов КМП описаны в [2, 34 - 36]. Если нет серьезных предпосылок использовать крупные корпуса 1206 и 1210 (высокая мощность рассеяния, большие значения емкости и т.д.), то рекомендуется использовать компоненты в корпусах 0805, 0603 и более миниатюрные, применение которых позволяет снизить массогабаритные показатели аппаратуры.

В количественном отношении из компонентов для поверхностного монтажа активные компоненты составляют около 30 %, в том числе дискретные полупроводниковые приборы 20%, а интегральные схемы 10%. Разработка корпусов активных компонентов играет такую же роль, как и разработка самих изделий. Для дискретных полупроводниковых приборов разработаны для ТМП малогабаритные пластмассовые корпуса в ГОСТ 18472-88 (аналогичные зарубежным типа SOT-Small Outline Transistor): КТ-46 (аналог SOT-23), КТ-47 (аналог SOT-89), КТ-48 (аналог SOT-143). Один из этих корпусов показан на *рисунке 4.7, а*. Он имеет форму выводов типа «крыла чайки» (*рисунок 4.7, б*). Эта форма выводов наиболее часто используется в интегральных схемах для поверхностного монтажа, наряду формой J- типа (*рисунок 4.7, в*). Кроме того, разработаны корпуса интегральных схем для поверхностного монтажа с формой выводов I- типа или торцовой (*рисунок 4.7, г*), которые легко формуются и имеют высокую степень компланарности. Английские инженеры предложили вариант формы выводов, заключающийся в повороте конца вывода типа «крыла чайки» на  $90^0$ , позволяющий уменьшить ширину контактной площадки (*рисунок 6.10, д*) [36].



**Рисунок 4.7 - Конструкции корпуса для транзисторов КТ-46 и КТ-46А (аналог SOT-23Б) для поверхностного монтажа (а) и выводов корпусов для поверхностного монтажа: типа «крыло чайки» (б); J-типа (в); I-типа (г); типа повёрнутое «крыло чайки» (д) [36]**

Большие интегральные схемы (*рисунок 4.8*), как правило, предназначены для поверхностного монтажа. Наиболее приспособлены для автоматизированного производства интегральные схемы жёсткими выводами. Из приведённых на рисунке конструкций в настоящее время наиболее популярны для поверхностного монтажа корпуса интегральных схем с припаянными шариками (фирмы IBM) и корпуса с выводами в виде гальванических столбиков из мягкого припоя.



**Рисунок 4.8 - Конструкции бескорпусных интегральных схем с выводами для поверхностного монтажа (слева) и монтаж этих ИС на плату [30]**

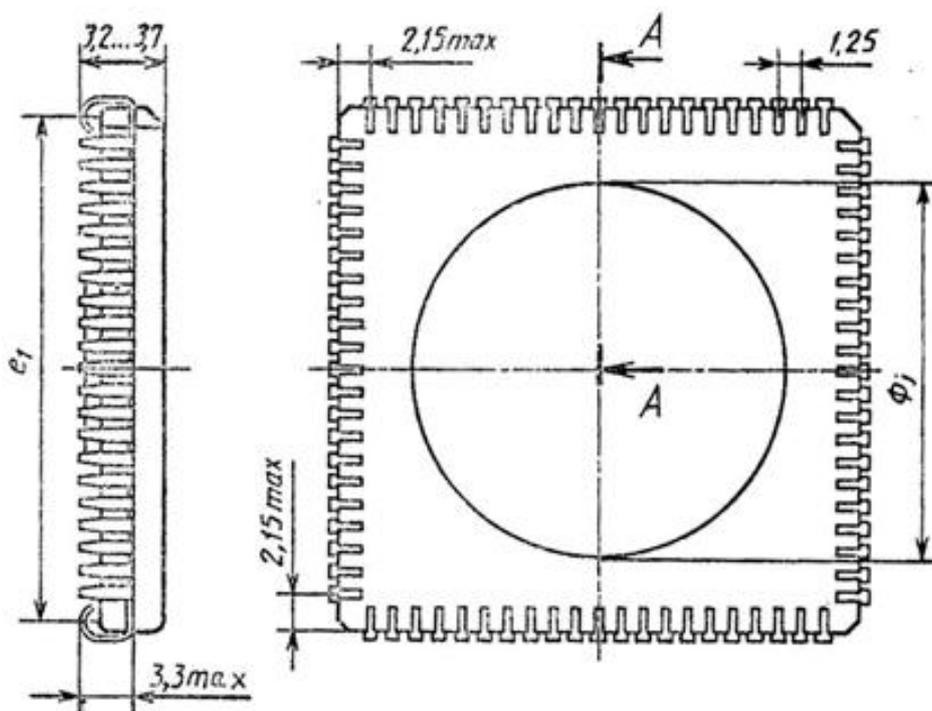
Шариковые и столбиковые выводы могут быть выполнены из мягкого припоя, и быть полужёсткими с медным основанием, покрытым слоем припоя. В первом случае технология изготовления пассивной части для монтажа ИС сложнее, чем во втором, но контактное соединение получается более устойчивым к циклическим воздействиям температуры.

Для поверхностного монтажа ИС в аппаратуре особого назначения, например в военной, космической, связной, наиболее часто используют герметичные керамические корпуса типа PLCC, подтип 45 по ГОСТ 17467-88 с числом выводов J-типа от 16 (типоразмер 4501) до 156 (типоразмер 4520). Конструкция такого корпуса показана на *рисунке 4.9*.

Недостатки этих корпусов в их дороговизне, а также в рассогласовании температурных коэффициентов расширения корпуса и стандартной стеклоэпоксидной платы, поэтому их лучше всего применять с керамическими платами.

Для поверхностного монтажа ИС часто используют корпуса типа SOLIC, подтип 43 по ГОСТ 17467-88 с числом выводов типа «крыла чайки» от 18 (типоразмер 4317) до 32 (типоразмер 4323). Конструкция такого корпуса показана на *рисунке 4.10*. Эти корпуса разработаны фирмой Philips. Корпус SOLIC имеет ширину 7.5 мм и шаг выводов 1.25 мм, а его разновидность с шириной 3.75 мм называется типом SOIC – подтип 43 по ГОСТ 17467-88 с числом выводов типа «крыло чайки» от 4 (типоразмер 4301) до 16 (типоразмер 4316). Фирмой Philips разработаны и выпускаются миникорпуса типа

VSO (VSOIC) с уменьшенным до 0.762 мм шагом выводов и числом выводов до 56. В СНГ корпуса с выводами типа «крыло чайки» стандартизованы в ГОСТ 17467- 88 как подтип 43 [36].

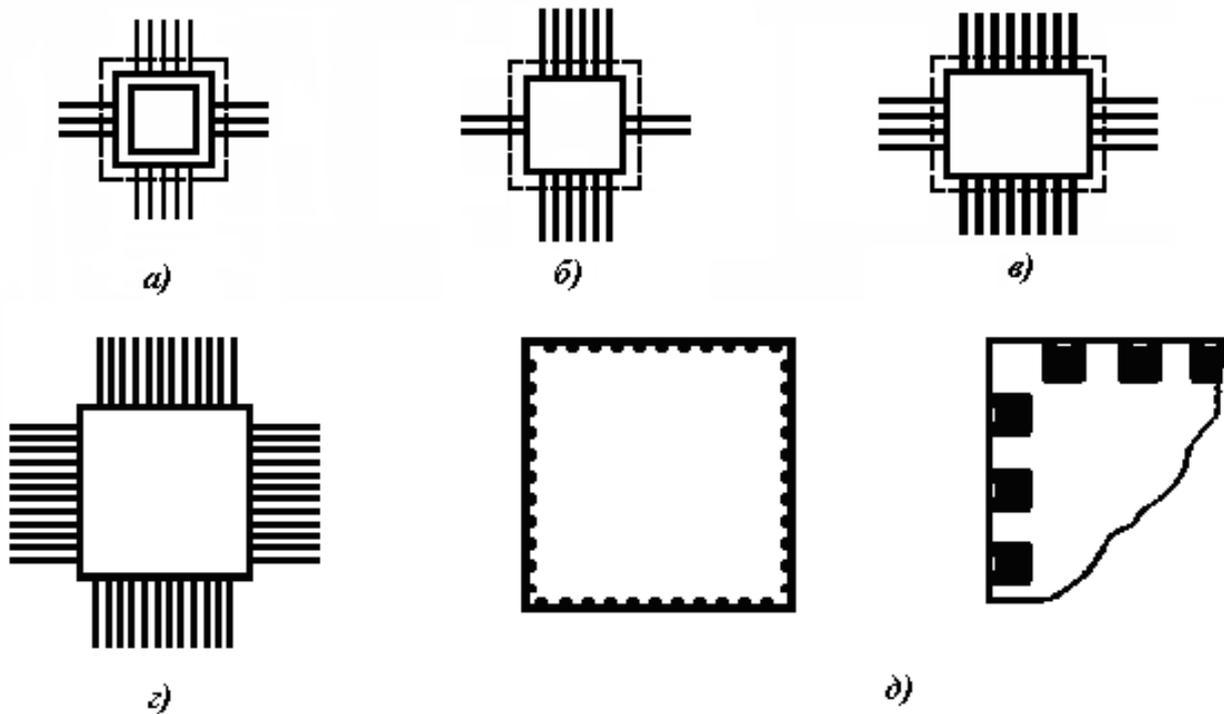


**Рисунок 4.9 - Конструкция корпуса типа PLCC, подтип 45 по ГОСТ 17467-88 с числом выводов J - типа от 16 (типоразмер 4501) до 156 (типоразмер 4520) [23]**



**Рисунок 4.10 - Конструкция корпуса типа SOLIC, подтип 43 по ГОСТ 17467- 88 с числом выводов типа «крыла чайки» от 18 (типоразмер 4317) до 32 (типоразмер 4323) [23]**

Отечественной промышленностью выпускаются микрокорпуса типа Н для размещения наборов резисторов, ИС и микросборок (рисунок 4.11), например, корпус Н 104.16 с размерами 7.5x7.5 мм при числе выводов 16 (УФ 0.481.005 ТУ). Шаг между залуженными пазами выводов равен 1 мм, высота выводов 0.4 мм, ширина 0.5 мм. Корпуса типа Н для наборов резисторов НР1 имеют шаг между выводами ещё меньше – 0.625 мм [2]. При таких малых значениях шага между выводами (до 0.3 мм) и большом их количестве (свыше 84) применение обычных методов установки и пайки на печатных платах просто невозможно. Поэтому для микрокорпусов предусмотрена автоматизированная установка на посадочные площадки с высокой точностью.



**Рисунок 4.11 - Микрокорпуса**

*a* - Н02.16-1В, *б* - Н04.16-1В, *в* - Н06.24-2В, *з* - Н14.42-2В, *д* - Н16.48, Н18.64 и Н20.84 [2]

Наряду с микрокорпусами ИС применяют микрокомпоненты, такие как непроволочные чип-резисторы; проволочные трехваттные резисторы с J-образными выводами (размеры  $21 \times 8.4 \times 6.5$  мм); переменные резисторы массой всего лишь 0.14 г и размерами  $5.2 \times 5.2 \times 2.15$  мм; монолитные керамические конденсаторы (аналоги отечественных типов К10-9 и К10-17); многослойные катушки индуктивности из чередующихся слоев магнита и электропроводящих паст с  $L = 0.05 \dots 220$  мкГн и  $Q = 25 \dots 45$ ; а также сверхминиатюрные соединители, трансформаторы, четырехзначные индикаторы, линии задержки, переключатели и т.д. [2, 34 - 37].

Из применяемых материалов плат с элементами для поверхностного монтажа используют стеклоэпоксидные, бумажноэпоксидные и бумажнофенольные слоистые материалы. Среди первых наиболее распространены сочетания «эпоксидная смола-стекловолокно» ( $\epsilon = 4.5 \dots 5$ ; ТКР =  $(14 \dots 18) \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ,  $\lambda = 0.16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) и «эпоксидная смола-кварц» ( $\epsilon = 3,6$ ; ТКР =  $5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ;  $\lambda = 0.17 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ). Они обычно применяются как для бытовой техники, так и для микроэлектронных устройств повышенной мощности. Ко второй и третьей группам материалов относят термопластики (полисульфон, полиэфиримид  $\epsilon = 3$ ; ТКР =  $20 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ;  $\lambda = 0.16 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ) и материалы на основе полиимида со стекловолокном  $\epsilon = 3.5$ ; ТКР =  $(8 \dots 15) \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ;  $\lambda = 0.38 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ . Термопластики чаще применяют как прозрачные платы для дисплеев, устройств

цветного кодирования, а материалы на основе полиимида – для цифровых устройств с повышенной плотностью монтажа и высоким быстродействием.

Получение рисунка печатных проводников на полиимидных пленках может быть выполнено с шириной проводника 25 мкм и расстоянием между ними 75 мкм полуаддитивным фотографическим методом *Photoforming*. Другой метод называется лазерным экспонированием. В этом случае при нагреве лучом органические смолы с диспергированными частицами меди размягчаются, частицы сплавляются и образуют проводник шириной 120...140 мкм.

Разновидностью конструктивов с микрокорпусами ИС и микроэлементами являются **крупноформатные подложки (КФП)**, или гигантские микросборки. Их особенность в том, что вместо печатных плат в них применяют металлические основания (стальные или алюминиевые, размером до 300х400 мм и толщиной 0.5 ...1 мм). На основания в первом случае вжигают многослойную (порядка шести слоев) толстопленочную керамику, а во втором случае наклеивают трассировочную полиамидную пленку (при этом кроме микрокорпусов могут использоваться и бескорпусные БИС на лентеносителе). Плата может быть выполнена целиком из керамики  $Al_2O_3$ , но при этом меньших размеров (140×120 мм, толщиной 5 мм). Применение металлических оснований позволяет обеспечить требуемые вибро- и ударопрочность, теплоотвод и осуществить общую земляную шину. В конструкциях крупноформатных подложек принят шаг сетки, равный 0.63 мм и менее вместо 1.27 мм для обычных печатных плат, номинальный диаметр отверстий 0.3 мм вместо 0.8 мм, что позволило увеличить плотность межсоединений на 75%.

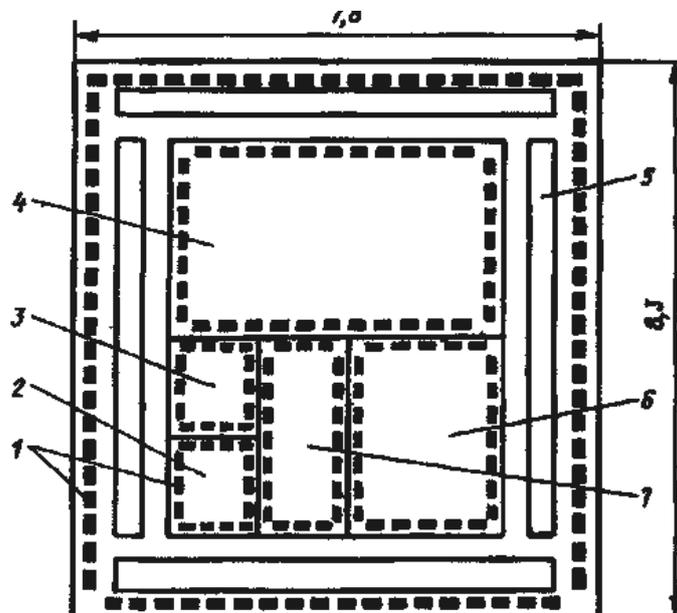
В дальнейших разработках достигнута сверхвысокая плотность межсоединений еще и за счет устранения межслойных отверстий и замены их на сплошные стерженьки путем электролитического осаждения меди. Минимальный диаметр межсоединения при этом равен 0.13 мм. Наличие таких стержневых межсоединений (сплошных и в большом количестве) позволило обеспечить лучший теплоотвод, чем в случае металлизированных отверстий крупноформатные подложки во многом превосходят гибридные толстопленочные схемы, размер которых ограничен.

В некоторых разработках КФП проблема термического согласования кристаллодержателей и подложки решена за счет применения корпусов кристаллодержателей, выполненных не из керамики, а из стеклоэпоксидных слоистых материалов с малым значением диэлектрической постоянной. Это обеспечивает не только термическое согласование, но и достаточно хорошее быстродействие схемы, и низкую стоимость корпуса.

При проектировании ЭС на КФП следует общую трассировочную плату выполнять на гибком печатном основании – полиамидной пленке, приклеенной непосредственно к дну корпуса-экрана, а корпус-экран выполнять из тонкостенных (не более 0.5 мм) металлов (алюминия с добавками лития, бериллия, реже латуни) или композиционных материалов (фольгированных стеклопластиков) для уменьшения массы несущих конструкций.

**Принцип конструирования устройств сверхвысокой интеграции (ИЦП)** основан на использовании **суперкомпонентов** с высоким уровнем интеграции элементов, выполняющих функции блоков и даже подсистем. В связи с этим сам процесс **проектирования** современной и перспективной МЭА должен рассматриваться как **разработка самих суперкомпонентов, а в дальнейшем как их компоновка и монтаж**, причем более сложный, чем в конструкциях предыдущих поколений.

Примером конструктива на суперкомпонентах может служить суперинтегральный кристалл фирмы *Toshiba* (Япония), содержащий микропроцессор, программируемый периферийный интерфейс, программируемый блок ввода-вывода, счетчик (таймер) и логические схемы для тестовой проверки ИС (*рисунк 4.12*). Ускорение процесса проектирования достигнуто путем применения стандартных компланарных МОП-кристаллов (КМОП-кристаллов), которые используют как суперкомпоненты большой гибридной ИС. Для этого берут фотошаблоны уже готовых КМОП БИС и размещают их на одном кристалле, а затем соединяют их электрически между собой вторым слоем металлизации. Для такого суперкомпонента все межсоединения обычно находятся в самих стандартных КМОП БИС, поэтому во втором слое число межсоединений сравнительно невелико. Тем не менее, эти разработки технологически еще недостаточно отработаны, процент выхода годных устройств низок, гибкость автоматизации невелика, а стоимость высока. Размеры же печатной схемной платы с таким набором при переводе ее на МСБ с суперкристаллом уменьшаются в 5...6 раз.



**Рисунок 4.12 - Конструктив на суперкомпонентах [2]:**

1- контактные площадки; 2 - логические ИС; 3 - устройство ввода-вывода; 4 - микропроцессор; 5 - буферные КМДП; 6 - счетчик; 7 - интерфейс

#### 4.3.2 Основы стандартизации. Унификация конструкций

**Стандарт**<sup>22</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 (ISO, 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.

**Федеральный закон о техническом регулировании** 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;
- 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.

Стандартизация осуществляется в соответствии с принципами:

---

<sup>22</sup> от английского *standard* - норма, образец

- **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**, за исключением случаев, если 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 (ГОСТ Р)**. Утверждаются и вводятся в действие Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии;

- национальные военные стандарты (**ГОСТ РВ**);

- межгосударственные стандарты, введенные в действие в Российской Федерации (в частности, **ГОСТ**);

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

- **общероссийские классификаторы** технико-экономической и социальной информации, применяемые в установленном порядке (**ОК**);

- **стандарты организаций (СТО)**. СТО могут разрабатываться и утверждаться организациями самостоятельно исходя из необходимости применения этих стандартов для совершенствования производства и обеспечения качества продукции.

К документам по стандартизации относят также **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.

**Объектом стандартизации** является предмет (продукция, процесс, услуга), подлежащий или подвергшийся стандартизации. При работе по стандартизации используют нормативные документы, содержащие правила, общие принципы, характеристики, касающиеся определённых видов деятельности или их результатов. 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.

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

В отечественной технической документации используется 27 систем 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].

В настоящее время стандартизованы в масштабе страны многие типы ЭРЭ (резисторов, конденсаторов, некоторых типов высокочастотных катушек индуктивности и коммутационных устройств), базовые несущие конструкции радиоэлектронных средств [41 - 47], общие технические условия, основные размеры методы конструирования и расчета печатных плат [48 - 51] и т.д.

Большая часть названных элементов конструкции, ЭРЭ и ФУ стандартизованы внутри предприятий, если программа выпуска велика. Однако стандартизовать можно ограниченное число типов модификаций изделий. Нельзя предусмотреть все возможные потребности производства, если еще учесть их постоянное изменение. Поэтому при проектировании ЭС с нестандартными значениями входных и выходных параметров, иногда приходится проектировать и нестандартные детали, узлы, ФУ и ЭРЭ и, тем самым, сознательно ухудшать такие технико-экономические показатели (ТЭП) как масса, габариты, энергопотребление, металлоемкость и пр. При жестких требованиях к ТЭП и качественным показателям ЭС (чаще всего специального назначения) приходится разрабатывать нестандартные детали, узлы, ФУ и ЭРЭ непосредственно для данной аппаратуры. При проектировании нестандартных устройств приходится решать и задачи оптимизации ТЭП при заданных ограничениях. Так как исходные данные и внешние факторы, часто являются случайными величинами и функциями, то становится очевидным сложность задач оптимизации при проектировании. Такие задачи невозможно каче-

ственно решить без использования современных системных методов с применением ПЭВМ и САПР.

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, унификацию, 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 разнообразия типов и номиналов ЭРЭ, типоразмеров конструкций, материалов, полуфабрикатов, режущего и измерительного инструмента и других норм. Документами, регламентирующими эти ограничения в указанных пределах, являются **СТО**. Требования отраслевой стандартизации наиболее широко применяется к ФУ, крепёжным деталям, материалам, проводам и кабелям, платам, скобам, 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 в качестве основы, базы для новых разработок.

**Типизация конструкций** представляет собой разработку и установление типовых конструкций ФУ и ЭС, которые содержат общие для ряда изделий и их деталей конструктивные параметры. **Типизация технологических процессов** представляет собой разработку и установление технологического процесса для изготовления однотипных деталей или изделий. Например, описанный ранее технологический процесс пайки методом расплавленного дозированного припоя (РДП), когда в конвекционной печи за один цикл можно припаять одновременно до тысячи и более радиокомпонентов поверхностного монтажа на платах, причем качество пайки будет намного выше качества ручной пайки.

**Унификация** – это установление оптимального числа разновидностей продукции, процессов и услуг, значений их параметров и размеров. Наиболее часто унификация используется для объектов одинакового функционального назначения. Унифицированные ЭРЭ и элементы конструкций предназначены для многократного применения в различных видах РЭС. Такие ЭРЭ и элементы конструкций имеют неоднократно проверенную технологию изготовления

и единую номенклатуру приспособлений, режущего и контрольно-измерительного инструмента [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  $N_y$  унифицированных деталей к общему числу деталей в изделии  $N$ :  $K_y = \frac{N_y}{N}$ . Подробно вопросы унификации несущих конструкций рассмотрены в разделе 4.3.3.

**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.

Перечень унифицированных деталей и сборочных единиц, разрешенных к применению на данном заводе или в объединении, приведён в отраслевых стандартах и стандартах предприятий.

Стандартизация ЭС направлена, прежде всего, на установление требований к техническому уровню и качеству продукции и на унификацию элементов и устройств. 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.

#### 4.3.3 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];
- 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 Р 52003-2003 «Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения» [22] имели разное число и название уровней разукрупнения из числа (ряда):

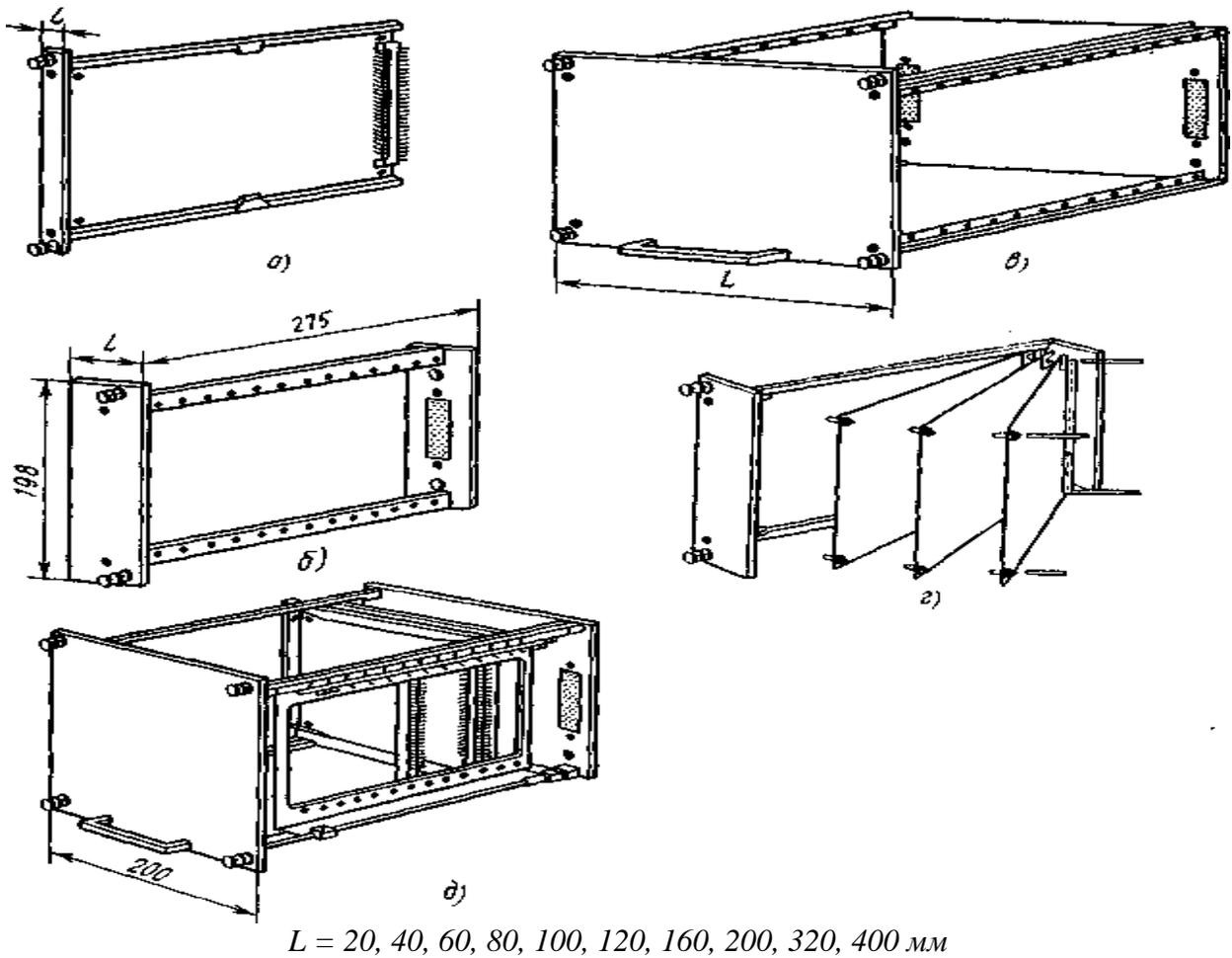
- элемент (ЭРЭ, ИС, соединитель и т.д.);
- плата (ячейка, корпус частичный, типовой элемент замены);
- блок (кассета, каркас, кожух, корпус комплектный, панель, крейт);
- шкаф (стойка, тумба, пульт, стол, блок комплексный) [3, 44].

Старые названия остались в технической литературе прежних выпусков:

- **корпус частичный** - базовая конструкция (*рисунок 4.13*) с несущими элементами в виде платы и передней панели или стержней, соединяющих переднюю и заднюю панели, предназначенная для размещения компонентов, плат и других изделий;

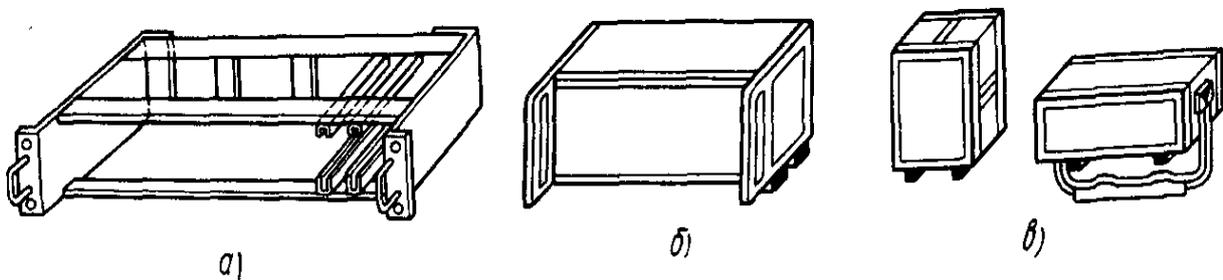
- **корпус комплектный** – базовая конструкция (*рисунок 4.14*) с несущими элементами в виде боковых стенок или стержней, соединяющих переднюю и заднюю балки и рамки, предназначенная для размещения плат, частичных корпусов и других изделий;

- **корпус комплексный** (*рисунок 4.15*) – 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.



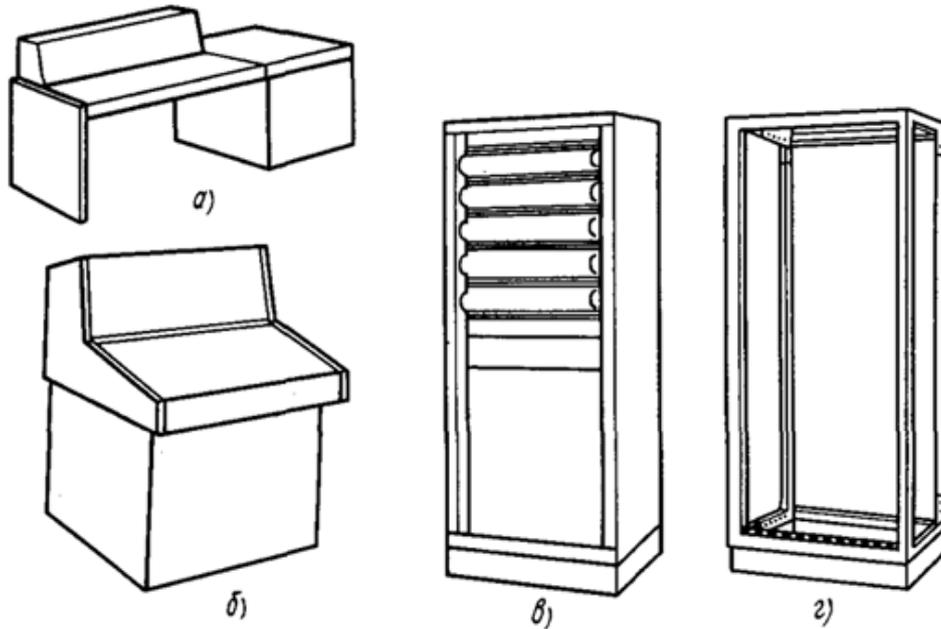
**Рисунок 4.13 - Схема конструкций частичных корпусов комплекса универсальных типовых конструкций УТК [3, 5]:**

*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 4.14 - Схема конструкций комплектных корпусов [3]:**

*а* - блочный (комплектный); *б* - настольного комплектного блока; *в* - корпуса малогабаритных комплектных блоков для измерительных приборов



**Рисунок 4.15 - 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** 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].

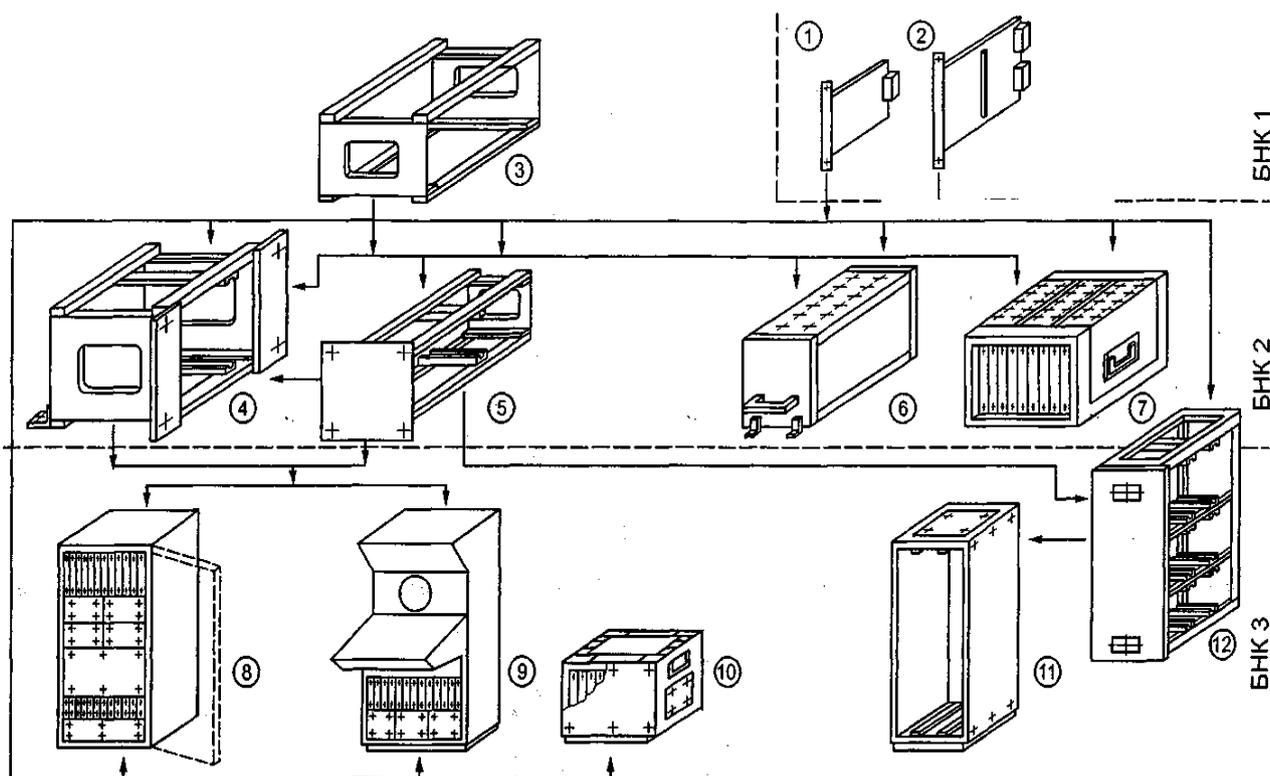
Параметры конструкционных систем РЭС в значительной степени определяются типом и параметрами элементов (ИС, ЭРЭ), используемых в модулях нулевого уровня (РЭМ 0). Поэтому другим важным объектом стандартизации является конструкция корпусов ИС и ЭРЭ (см. раздел 4.3.1).

Система построения и входимости БНК предусматривала три уровня разукрупнения: БНК1, БНК2 и БНК3 (рисунок 4.16).

**Схема построения РЭС** 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, модулей от НЧ до СВЧ диапазона, а также модулей системы вторичного электропитания и управления. Допускается установка электрических соединителей передних панелях БНК1. Для модулей СВЧ диапазона возможно применение волоконно-оптического соединителя.



**Рисунок 4.16 - 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

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

**БНК1** (рисунок 4.16, 1 и 2) устанавливают в конструкции более высокого уровня разукрупнения по направляющим: в корпус вставного блока (рисунок 4.16, 5 и 6) – параллельно лицевой панели или параллельно боковым стенкам, в блочный каркас (рисунок 4.16, 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 4.16, 4) служит для размещения в нем БНК1 (рисунок 4.16, 1 и 2) или корпусов вставных блоков (рисунок 4.16, 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 БНКЗ с помощью винтов на лицевых сторонах вертикальных профилей либо посредством дополнительной 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 (*рисунок 4.16, 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 корпуса или кожухи.

**Корпус блока бортовых авиационных РЭС** (*рисунок 4.16, 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 предоставляет 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** (*рисунок 4.16, 8, 9, 10, 11, 12*).

**Стойка** (*рисунок 4.16, 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** (рисунок 4.16, 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 4.16, 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 4.16, 12), но без задней и боковых стенок, имеющую сплошные горизонтальные перегородки для установки блоков в настольном и переносном исполнении.

**Тумба** является фрагментом стойки (рисунок 4.16, 12), на верхней плоскости которой может быть расположено переносное оборудование.

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

**Электрические соединения** между 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)  $L$  соответствуют **однородной метрической трехмерной модульной сетке**.

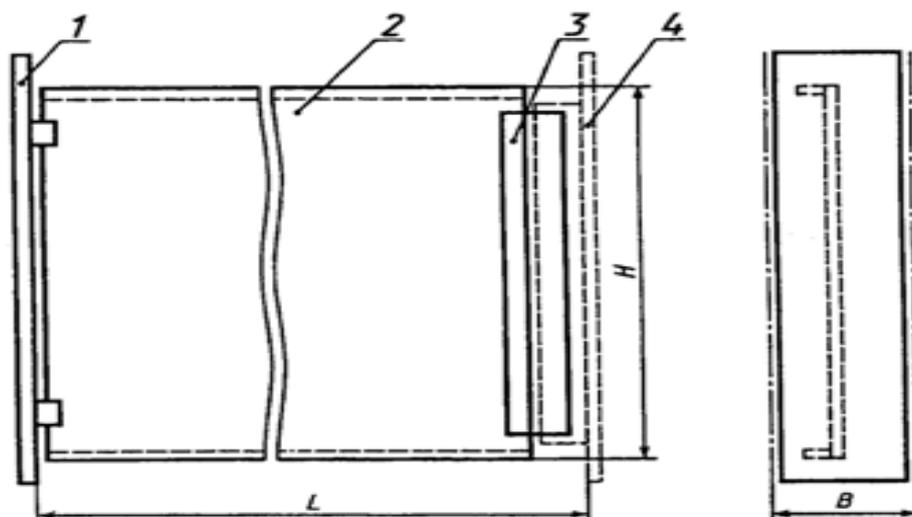
В качестве базовых приняты размерные модули: 2.5 мм (для координационных размеров БНК1 и присоединительных размеров БНК всех уровней) и 25.0 мм (для координационных размеров БНК2 и БНК3). Это создает оптимальные условия для применения автоматизированных методов на всех стадиях конструирования и производства РЭС. 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 4.17) приведены в *таблице 4.4*. Под высотой понимают сторону ячейки, на которой установлен электрический соединитель.

**Таблица 4.4**

**Координационные размеры БНК1 (размеры в миллиметрах) [42]**

<b><math>H</math></b>	50; 75; 100; 115; 170; 265; 365; 415
<b><math>B</math></b>	12.5; 15; 17.5; 20; 22.5; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100
<b><math>L</math></b>	175; 225; 250; 300



**Рисунок 4.17 - Координационные размеры БНК1 (ячейка):**

1 - лицевая панель; 2 - печатная плата; 3 - электрический соединитель; 4 - объединительная печатная плата

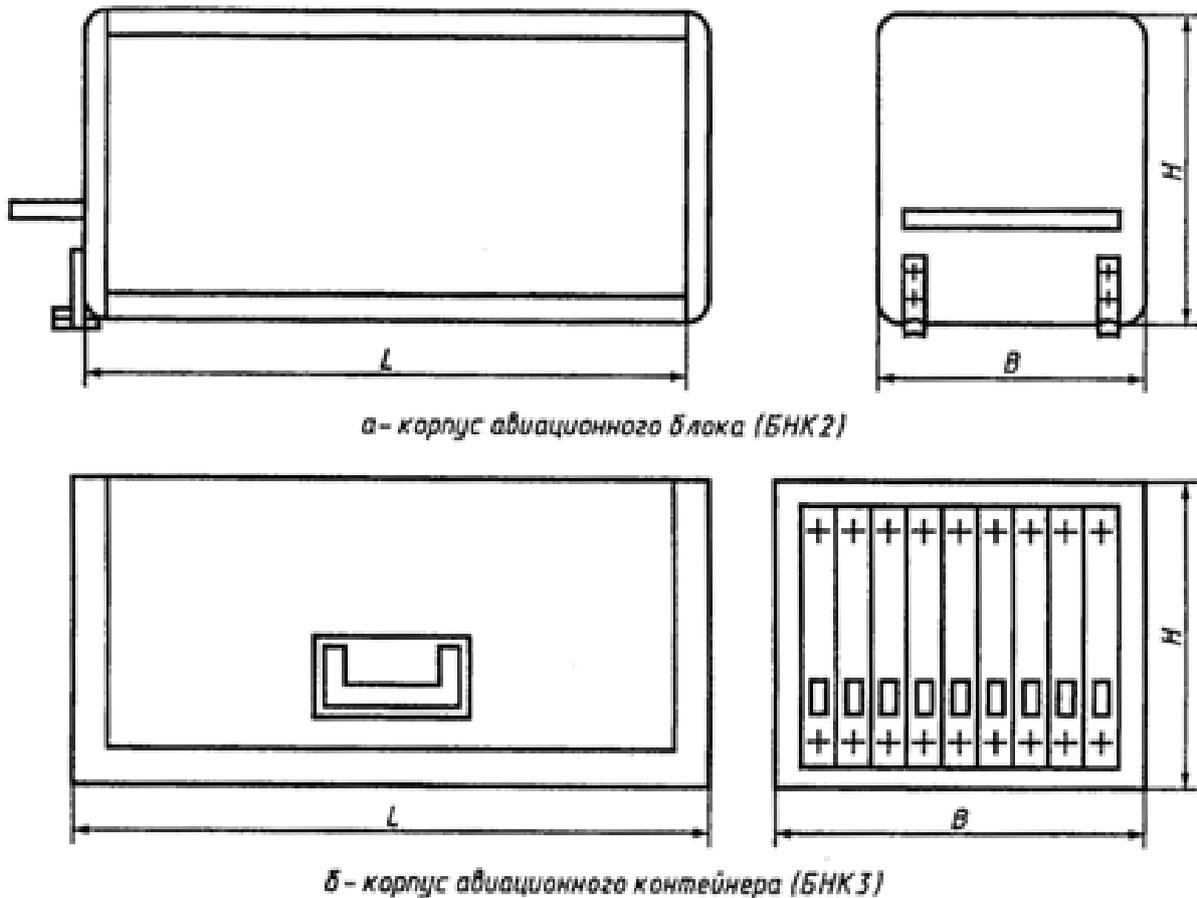
**Координационные размеры БНК2 и БНК3 бортовых авиационных РЭС** обозначены на *рисунке 4.18*. Наружные координационные размеры БНК2 бортовых авиационных РЭС соответствуют размерам корпусов типа К по нормативному документу, утвержденному в установленном порядке, и обеспечивают возможность установки в них БНК1 с размерами, приведенными в *таблице 4.4*. Координационные размеры БНК2 обозначены на *рисунке 4.18, а* и приведены в *таблице 4.5*, а координационные размеры БНК3 бортовых авиационных РЭС обозначены на *рисунке 4.18, б* и приведены в *таблице 4.6*.

**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 (*рисунок 4.19*). Подробно уровни конструктивных модулей в ЕС ЭВМ описаны в литературе [7 и 44].

**Таблица 4.5**

**Координационные размеры БНК2 бортовых авиационных РЭС  
(размеры в миллиметрах) [42]**

Условное обозначение блока	L	H	B±0.5	Условное обозначение блока	L	H	B±0.5
0.5 К	318	194	25.4	3.5 К	318	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



**Рисунок 4.18 - Координационные размеры БНК2 и БНК3 бортовых авиационных РЭС**

**Таблица 4.6**  
**Координационные размеры БНК3 бортовых авиационных РЭС**  
**(размеры в миллиметрах) [42]**

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].

До создания системы **БНК РЭС** при конструировании использовали комплекс **унифицированных типовых конструкций (УТК)** РЭА (радиоэлектронная аппаратура РЭА – это старое название радиоэлектронных средств РЭС), совместимый 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:

- **УТК-I** – стационарная РЭА, предназначенная для работы в отапливаемых и неотапливаемых помещениях;

- **УТК-II** – стационарная, полустационарная и подвижная РЭА, работающая на открытом воздухе, во временных помещениях и укрытиях, палатках, на колесном и гусеничном транспорте;

- **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;

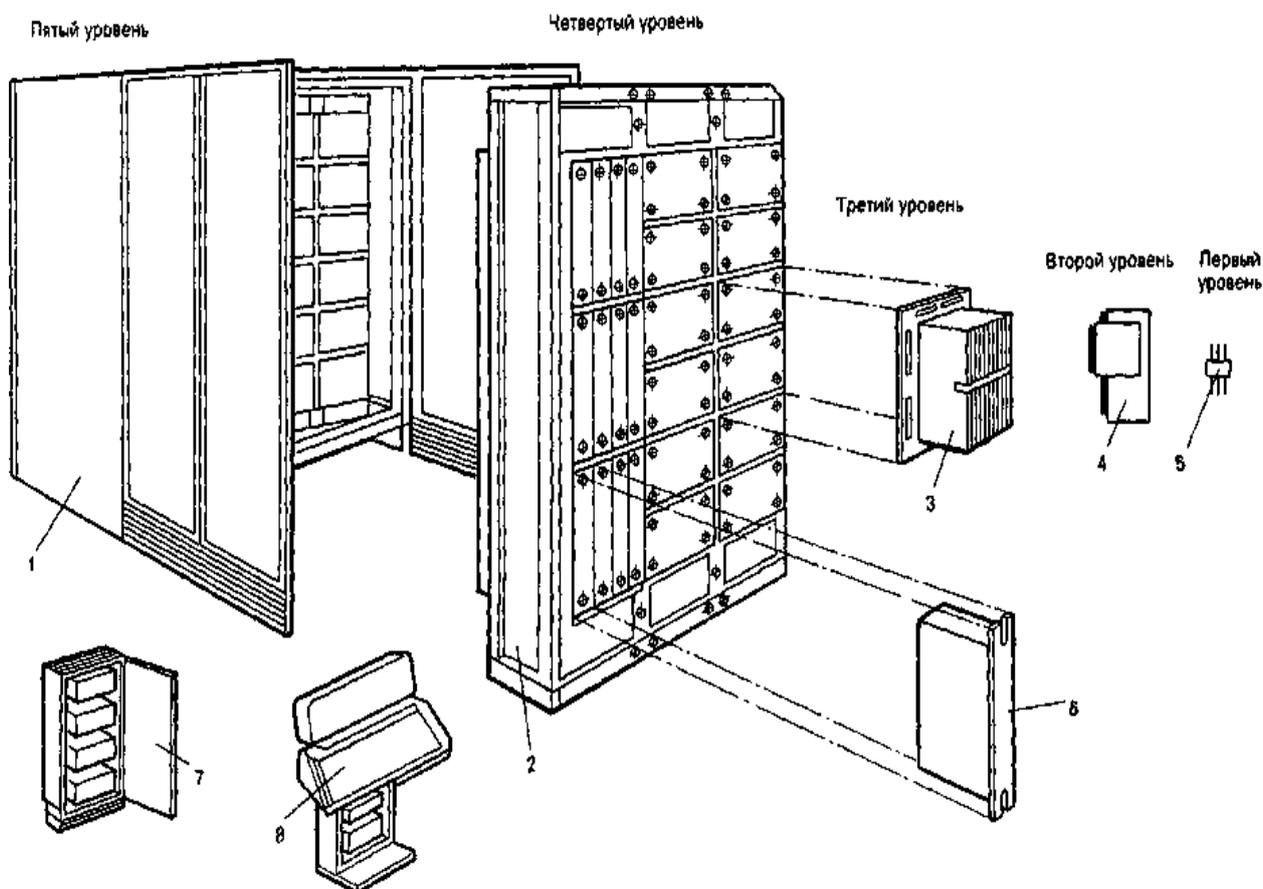
- **КУ-2:** унифицированные печатные платы для РЭА, разрабатываемой на базе УТК-I и УТК-II;

- **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 конструктивное 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-I и УТК-II широким применением бескорпусной элементной базы, т.е. введением нулевого КУ.



**Рисунок 4.19 - Уровни конструктивных модулей в ЕС ЭВМ:**

1 - стойка (шкаф); 2 - рама; 3 - панель (блочный каркас); 4 - типовой элемент замены – ТЭЗ (кассета); 5 - корпус ИС, ЭРЭ; 6 - блоки различного назначения; 7 – тумба; 8 - пульт [7, 44]

Основными конструкционными компонентами УТК-I и УТК-II являются четыре **унифицированные ПП** трех типоразмеров: 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 выходных контактов для подсоединения внутриблочного жгутового монтажа или плоского кабеля.

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, клеевинтовые соединения на основе клея К-400.

**Номенклатура частичных блоков** для УТК-I и УТК-II охватывает 59 типоразмеров (рисунки 4.13 и 4.20). Блоки типа 1 (рисунок 4.20) и а (рисунок 4.13) предназначены для размещения ИС и корпусных ЭРЭ. Основные элементы конструкции блоков: ПП 160×280, передняя панель, направляющие. Блок типа г (рисунок 4.13) предназначен для «книжной» компоновки ПП 160×220, блок типа д (рисунок 4.13) с шириной передней панели  $L = 200$  мм – для «кассетной» компоновки ПП 140×150 и МПП 140×150. Блоки типа з (рисунок 4.20) – 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.

Вслед за комплексом унифицированных типовых конструкций РЭА (УТК РЭА) [5] 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 4.7), исходя из модуля 20 мм. Входимость уровней обеспечивается также путём использования вспомогательных изделий (направляющих, ловителей и т.п.).

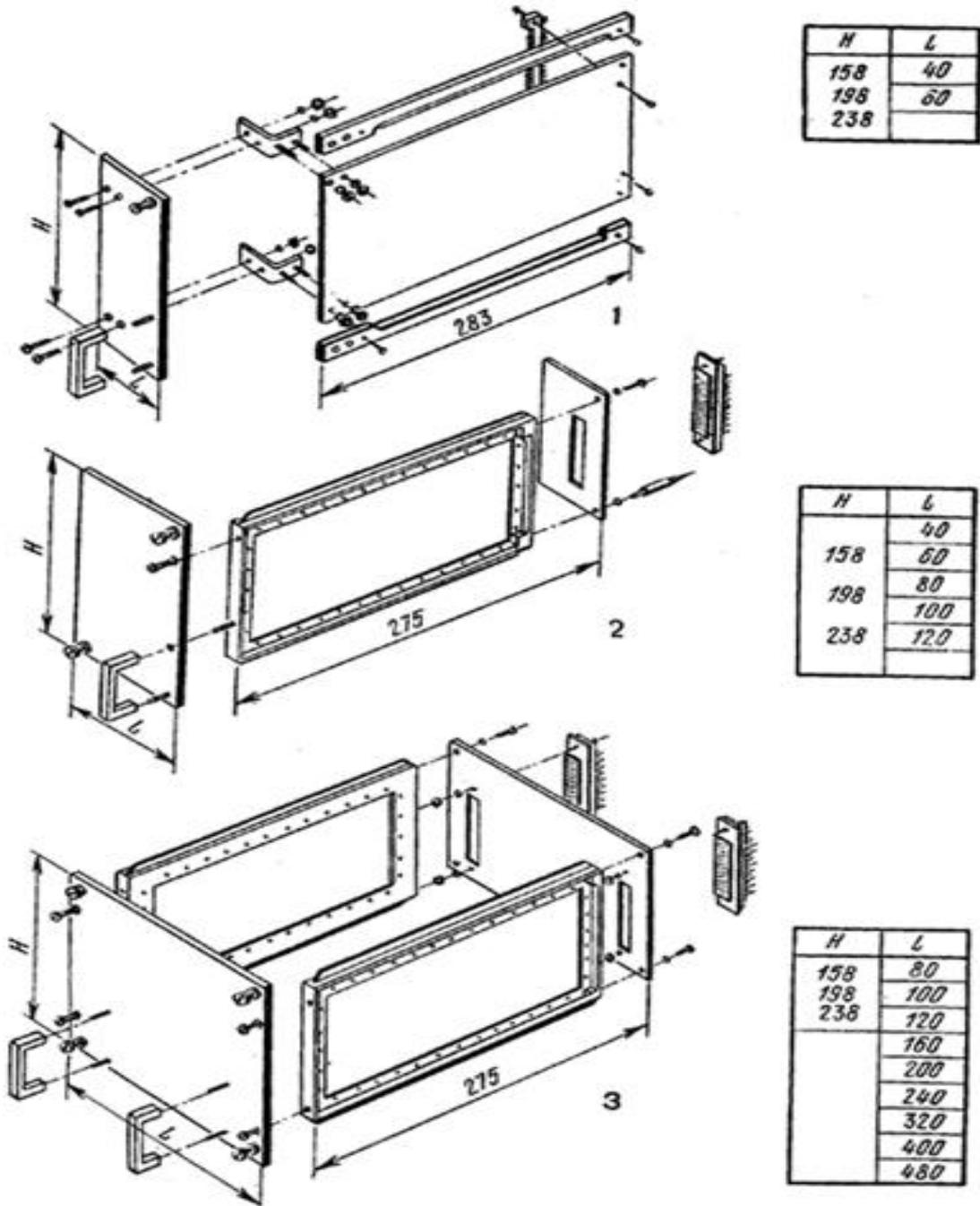


Рисунок 4.20 - Схема конструкций частичных корпусов комплекса универсальных типовых конструкций УТК РЭС [5]

Таблица 4.7

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

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

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  $H_2$ ,  $B_2$ ,  $L_2$  (индекс 2 означает принадлежность размеров изделиям второго порядка) определяют из соотношений:

$$H_2 = H - \Delta H_2; B_2 = B + \Delta B_2; L_2 = L - \Delta L_2, \quad (4.2)$$

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:

$$h_2 = H - \Delta h_2; b_2 = B - \Delta b_2, \quad (4.3)$$

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:

$$H_1 = H - \Delta H_1; B_1 = B - \Delta B_1; L_1 = L - \Delta L_1, \quad (4.4)$$

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:

$$h_1 = H - \Delta h_1; b_1 = B - \Delta b_1, \quad (4.5)$$

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:

$$H_0 = H - \Delta H_0; B_0 = B; L_0 = L - \Delta L_0, \quad (4.6)$$

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:

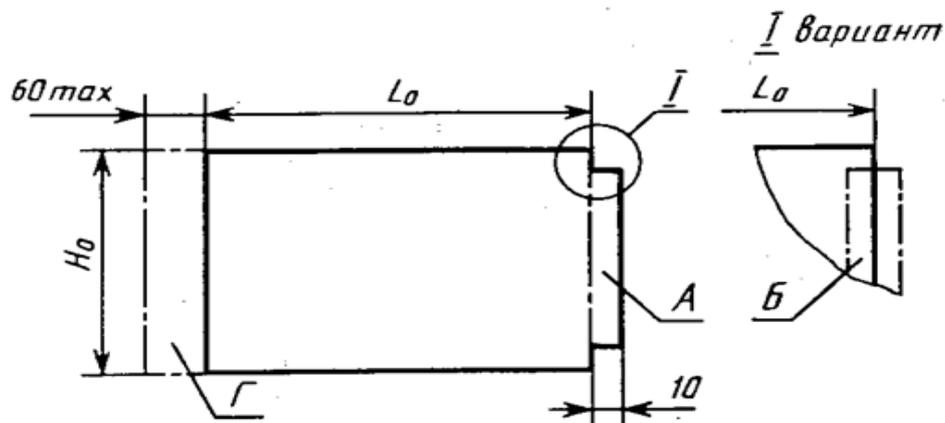
$$h_3 = H + 40n; b_3 = B + \Delta b_3, \quad (4.7)$$

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 4.21*. Вид и размеры унифицированных типовых конструкций элементов других уровней системы УТК-20 приведены в [43].

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 дюймов). 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 4.22*.



$H_0$ , 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 4.21 - Основные размеры монтажных выдвигающих плат системы УТК-20 [43]:**

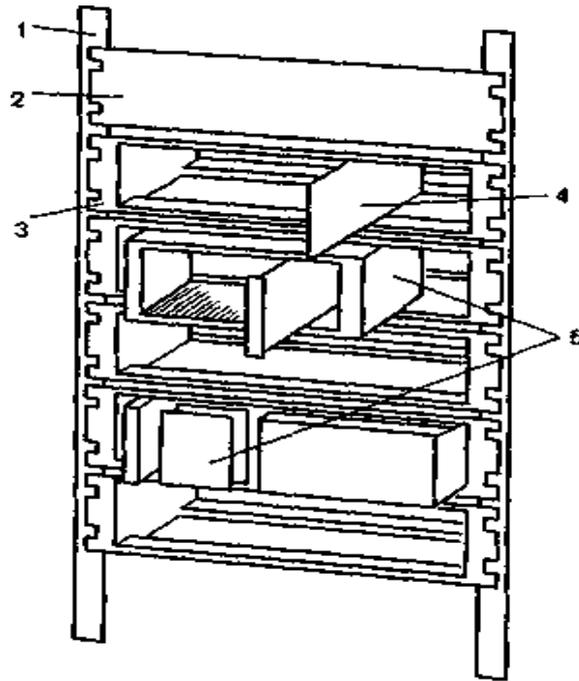
*A* - зона размещения печатной вставки; *B* - зона размещения накладной части соединителя; *Г* - зона размещения элементов настройки и регулирования

**Конструктивная система (КС) микро-ЭВМ и персональных ЭВМ (ПЭВМ)** содержат три уровня базовых конструкций корпуса частичный, комплектный и комплексный (*таблица 4.8*) [7].

**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.

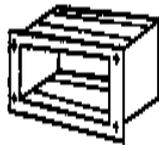
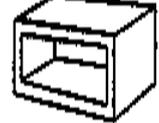
**Комплексный корпус**, модификациями которого являются шкаф, стойка, тумба и стол, предназначен для размещения разновидностей комплектного корпуса, а также различных периферийных устройств. Стол используется в качестве основы для комплектования рабочего места оператора.



**Рисунок 4.22 - Стоечная конструкция:**  
 1 - стойка вертикальная; 2 - панель, 3 - блочный каркас, 4 - печатная плата,  
 5 - выдвижной частичный каркас [7]

**Таблица 4.8**

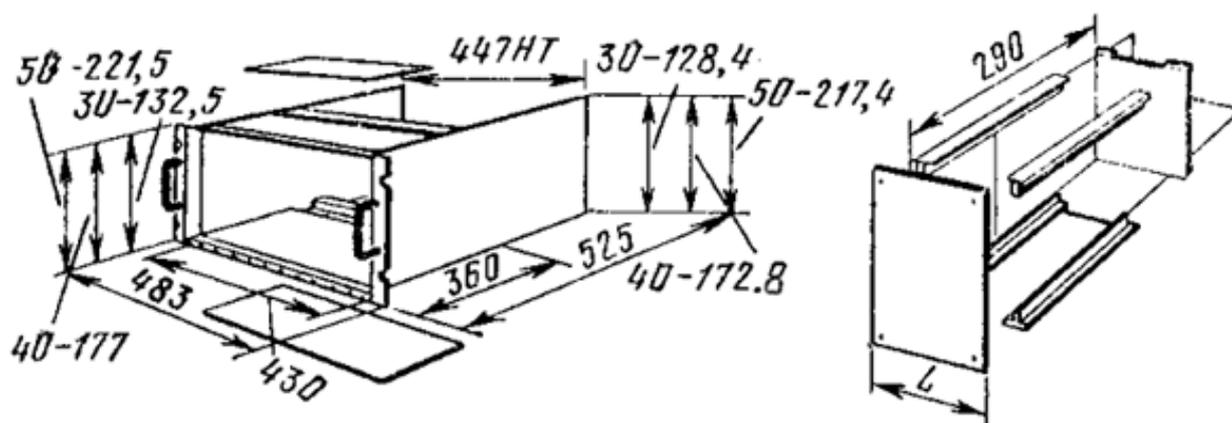
**Схемы конструкций, входящих в конструктивную систему микро-ЭВМ и персональных ЭВМ [7]**

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

#### 4.3.4 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 конструктивных 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 XX века наибольшее распространение получил модульный комплекс аппаратуры САМАС (*Computer Applications for Measurements and Control* – США - Франция - Канада) [5]. Схема типовых конструкций модульного комплекса аппаратуры САМАС показана на рисунке 4.23.



$$L = 17, 34.2, 51.4, 68.6, 85.8, 103, 137.4, 171.8, 206.2$$

**Рисунок 4.23 - Схема типовых конструкций модульного комплекса аппаратуры САМАС [5]**

Комплекс САМАС предназначен для создания систем с цифровой обработкой информации и регламентирует способы механического и электрического соединения 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. перечень рисунка 4.23). 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 4.9.

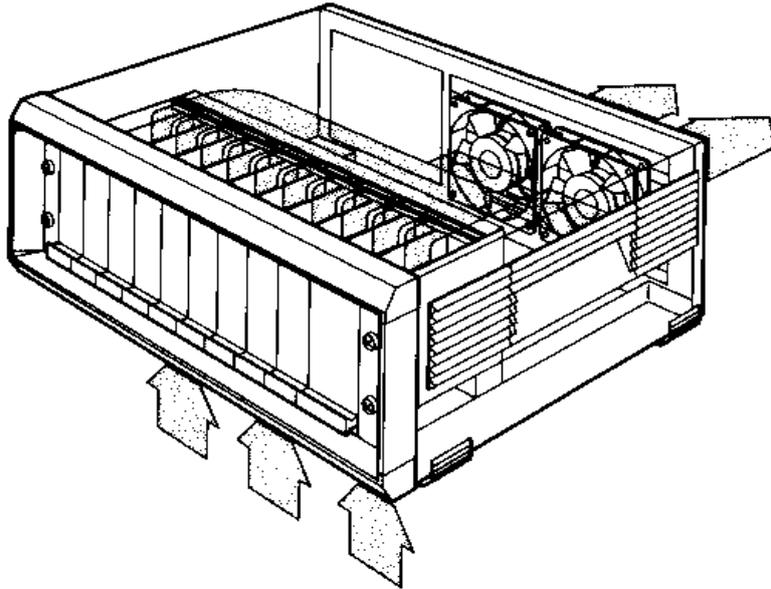
**Таблица 4.9**

**Перечень некоторых зарубежных конструкционных систем [7]**

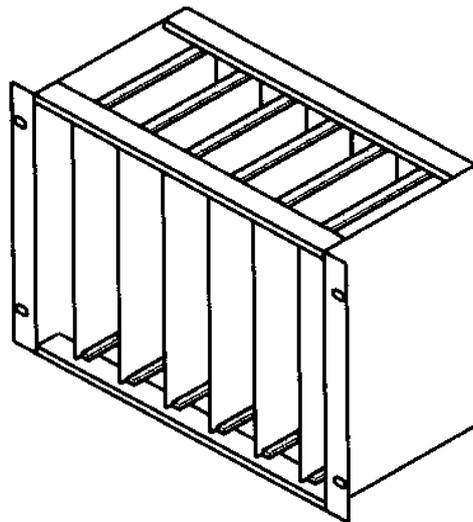
Наименование фирмы, применяющей КС	Обозначение уровней КС	Наименование уровня
<i>Augat Inc.</i>	Первый Второй Третий  Четвертый	Платы базовые и интерфейсные Корпус частичный (рамка) Корпус комплектный: выдвигной с поворотными рамками, вставной, вставной с поворотными вертикальными рамками Кожух для вставного корпуса, панели,
<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 поставляет полный набор принадлежностей и приспособлений. К шкафам и 19-дюймовым корпусам поставляются конструктивно совместимые с ними средства для поддержания климата (системы вентиляторов, решёток, фильтров). Схема конструкции 19-дюймового корпуса типа *protac* для аппаратуры с вентиляцией немецкой компании *Schroff* приведена на рисунке 4.24.

Компания *Schroff* поставляет также 19-дюймовые приборные корпуса типа *ratiopac PRO/-air* и субблоки типа *europac PRO* (рисунок 4.25), с продуманной системой защиты от радиопомех.



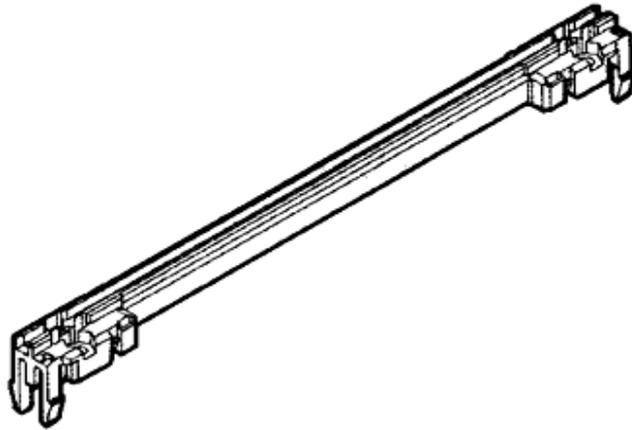
**Рисунок 4.24 - Схема конструкции 19-дюймового корпуса для аппаратуры с вентиляцией типа *protec* немецкой компании *Schroff* [48]**



**Рисунок 4.25 - Схема конструкций 19-дюймового приборного корпуса типа *ratiopac PRO/-air* (верхняя и передняя панели сняты) и субблока типа *europac PRO* немецкой компании *Schroff* [48]**

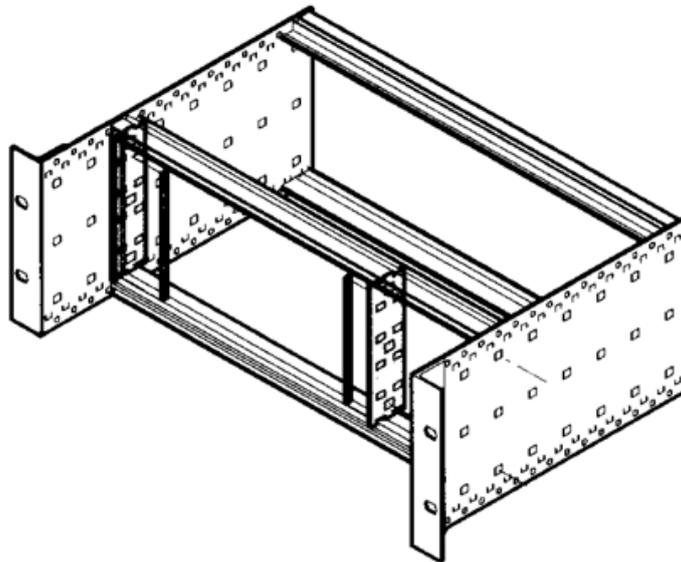
Для проектировщиков представляет интерес детально ознакомиться с конструктивными особенностями корпусов и субблоков, а также типовых принадлежностей к ним, с целью использования типовых конструктивных решений в разрабатываемых устройствах.

Одна из типовых конструкций направляющих для установки печатных плат в 19-дюймовых приборных корпусах типа *ratiopac PRO/-air* и в субблоках *europac PRO* изображена на рисунке 4.26. Средняя часть направляющих изготавливается из анодированного алюминиевого профиля, а наконечники из пластмассы.



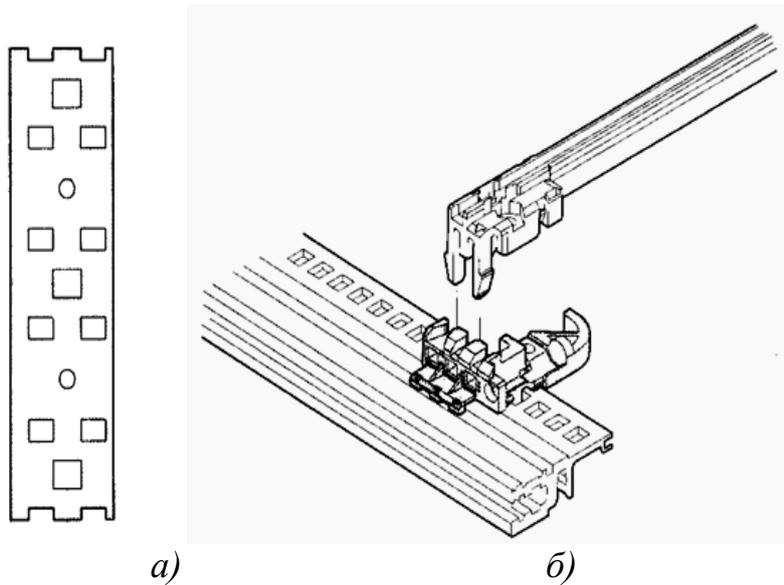
**Рисунок 4.26 - Одна из типовых конструкций направляющих для установки печатных плат в 19-дюймовых приборных корпусах типа *ratiopac PRO/-air* и в субблоках *europac PRO* немецкой компании *Schroff* [48]**

Для крепления направляющих и профилированных рельсов в типовых конструкциях субблоков типа *europac PRO* опорные планки и панели перфорируют (рисунок 4.27).



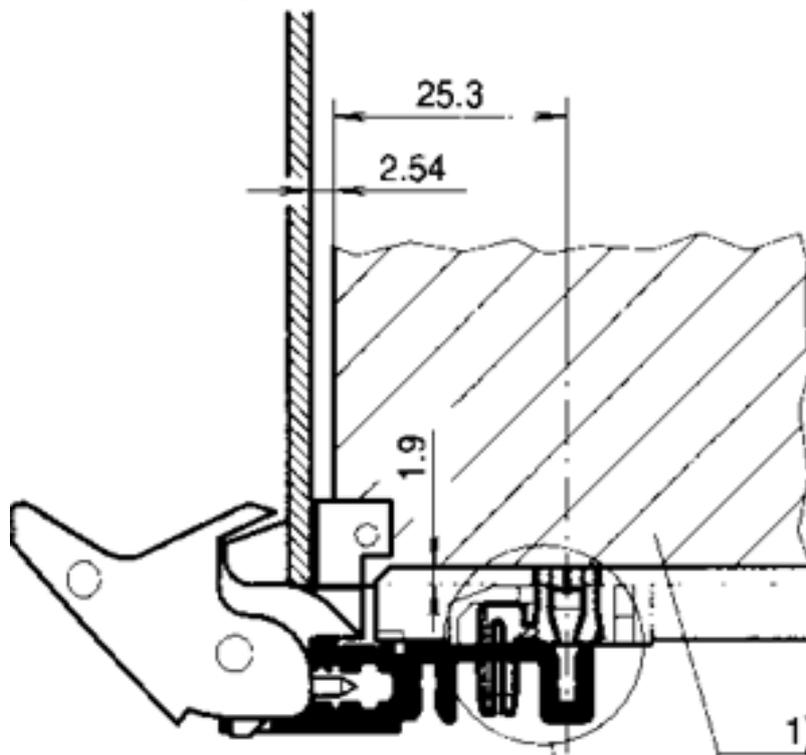
**Рисунок 4.27 - Одна из типовых конструкций субблока типа *europac PRO* немецкой компании *Schroff* (вертикальная опорная планка и боковые панели перфорированы) [48]**

Одна из типовых конструкций опорной планки показана на рисунке 4.28, а. Для того чтобы размещать направляющие для печатных плат в нужном месте на перфорированном и профилированном рельсе используют кодировочный блок (рисунок 4.28, 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 установки печатных плат.



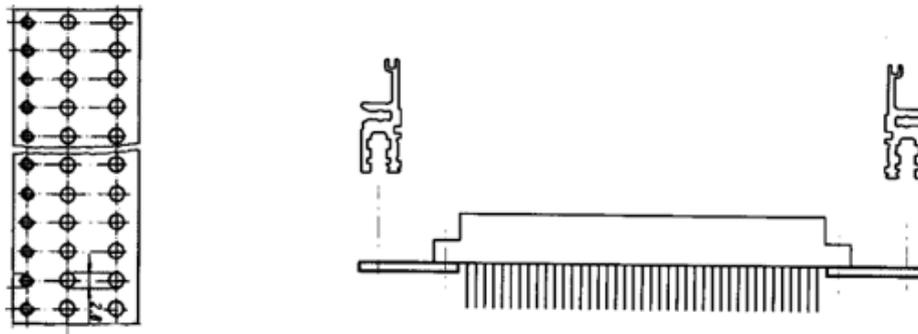
**Рисунок 4.28 - Примеры конструкций опорной планки (а) и кодировочного блока для субблока eurocard PRO (б) немецкой компании Schroff**  
(вертикальная опорная планка и горизонтальный профилированный рельс перфорированы) [48]

Для того чтобы печатные платы не могли при механических воздействиях перемещаться вдоль направляющих, используют специальные зажимы *ESD* для печатных плат (рисунке 4.29).



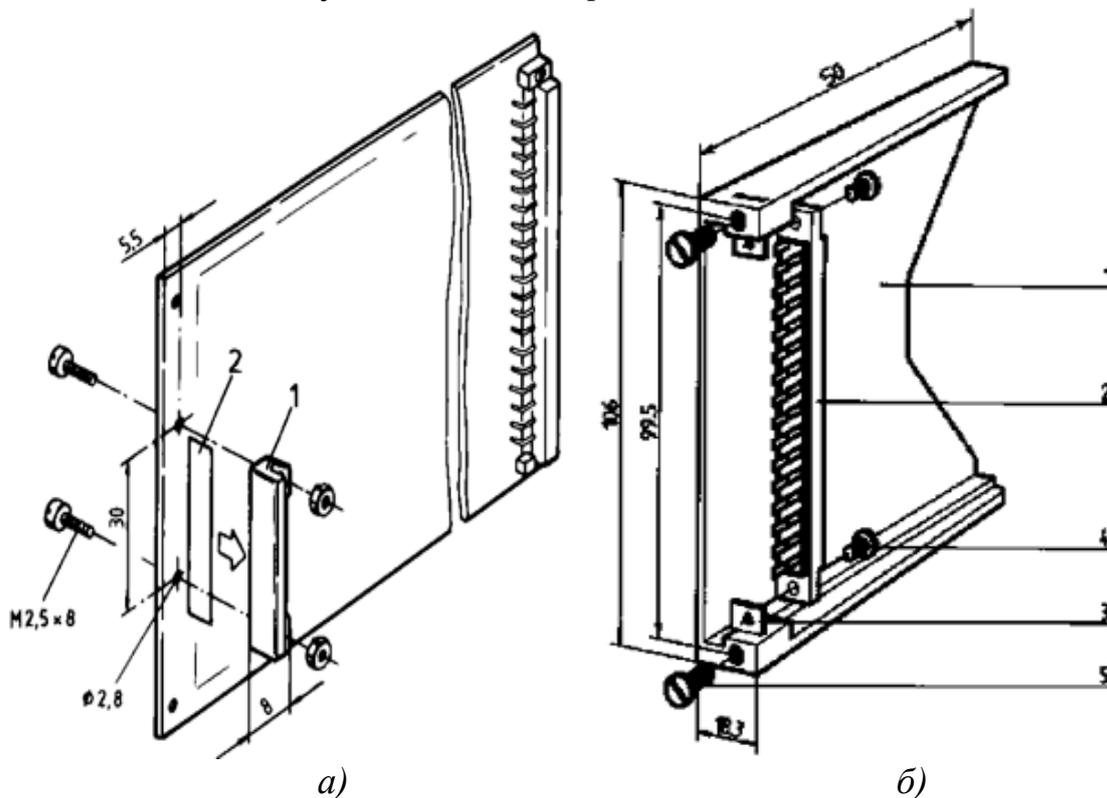
**Рисунок 4.29 - Крепление печатных плат (I) в направляющих с помощью зажимов *ESD* в субблоке типа eurocard PRO немецкой компании Schroff** [48]

Конструкция крепления соединителя на перфорированном рельсе с резьбовыми отверстиями в субблоке типа *europac PRO* показана на рисунке 4.30.



**Рисунок 4.30 - Крепление соединителя на перфорированном рельсе с резьбовыми отверстиями в субблоке типа *europac PRO* немецкой компании *Schroff* [48]**

На рисунке 4.31, а показан один из примеров типового конструктивного исполнения крепления ручки и маркировочной этикетки на печатной плате, а на рисунке 4.31, б – пример конструкции кожуха для установки европлаты формата 100×160 мм в субблок типа *europac PRO*.

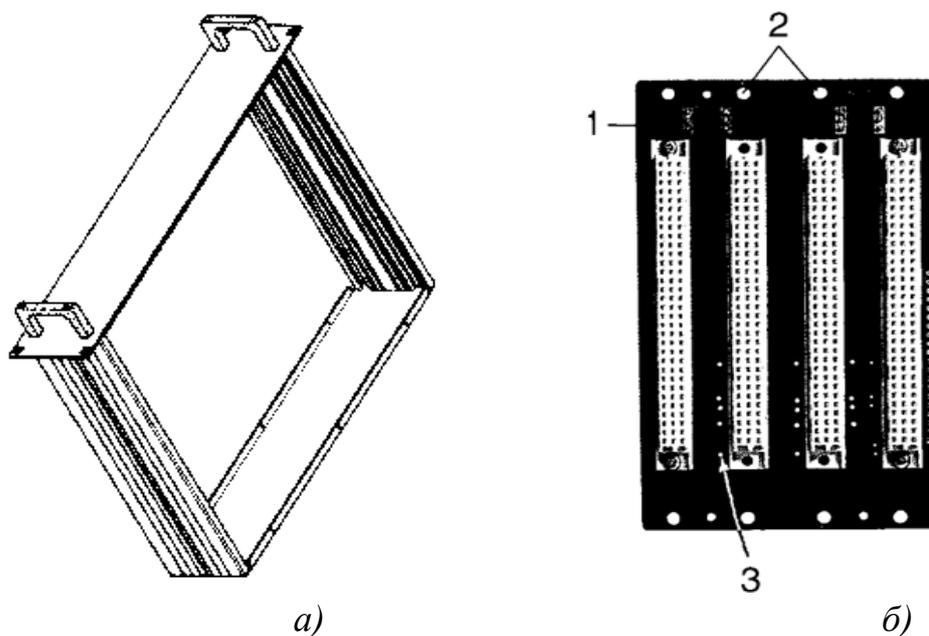


**Рисунок 4.31 - Примеры типового конструктивного исполнения:**  
 а - крепления ручки 1 и маркировочной этикетки 2 на печатной плате; б - кожуха для установки европлаты формата 100×60 мм в субблок типа *europac PRO* немецкой компании *Schroff* (1 - кожух печатной платы; 2 - гнездовая часть соединителя; 3 - опорная пластина; 4 - винты M2,5; 5 - винты M4) [48]

На рисунке 4.32, *а* показан один из примеров типового конструктивного исполнения крепления ручек на 19-дюймовом шасси типа *multipac*, а на рисунке 4.32, *б* – пример конструкции – кроссплаты, монтируемой в ряд, для обеспечения высокоскоростного обмена данными между платами вычислительных устройств, например компьютеров. Из-за ограниченного объёма 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:

- наличие иерархических конструктивных уровней, находящихся в подчинении, 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].



**Рисунок 4.32 - 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]

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.

## 5 СИСТЕМНЫЕ КРИТЕРИИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ И КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

### 5.1 Общие сведения о качестве, о техническом уровне и о системах менеджмента и обеспечения качества изделий

**Технический уровень и качество изделий** являются достаточно сложными, связанными между собой понятиями. Для изучения этих понятий и связи между ними целесообразно представить их как систему. В данном случае следует использовать определение системы как множества понятий, норм с отношениями и связями между ними, образующих некоторую целостность и подчинённых определённому руководящему принципу. Как упоминалось ранее (раздел 3.3), из-за множественности описания одна и та же система может быть представлена различным количеством подсистем, что определяется степенью детализации функциональных преобразований, выполняемых подсистемами. Одни и те же понятия различными исследователями часто трактуются по-разному в зависимости от того, какие свойства понятия важны для решения конкретной поставленной задачи. Кроме того, при развитии науки у понятий могут быть обнаружены новые свойства (**принцип развития**). Возможна неоднозначность в толковании понятий разными людьми даже при решении одной и той же задачи, что вызывает трудности из-за отсутствия преемственности при решении задач. Для устранения неоднозначности в толковании понятий следует пользоваться авторитетными энциклопедическими словарями, например [1], а также соответствующими действующими стандартами. Применительно к рассматриваемой тематике для толкования понятий следует использовать стандарты [50] (ГОСТ Р ИСО 9000—2008 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь»), а также [51] (ГОСТ Р 53480-2009 «Надёжность в технике. Термины и определения»).

**Качество** – это философская категория, выражающая существенную определённость объекта, благодаря которой он является именно этим, а не иным [53]. **Качество** характеризует степень соответствия присущих характеристик требованиям, то есть потребности или ожиданию, которое установлено, обычно предполагается или является обязательным. Термин «качество» может применяться с такими прилагательными, как *плохое, хорошее или отличное* [50]. В русском языке слово **качественный** обозначает *лучший, высокий по качеству* [56]. В технике слово **качественный** также иногда используют в смысле *высокий по качеству* (см., например, термин **качественные стали** в [1]). **Качество** можно представить как *совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности* [52]. В этом смысле качество в технике имеет количественную оценку. **Качество изделия** – мера полезности изделия и совокупность свойств изделия, удовлетворяющих определённым потребностям в соответствии с его назначением [1, 49, 52, 53].

При рыночных отношениях изделия с одной стороны являются продукцией, произведённой в результате деятельности или процесса, а с другой стороны они, как правило, производятся для продажи, то есть являются товаром.

**Продукция** может включать услуги, оборудование, материалы, программное обеспечение или комбинации из них. Она может быть материальной или нематериальной.

**Процесс** – совокупность взаимосвязанных ресурсов и деятельности, которая преобразует входящие элементы в выходящие.

**Услуга** – итоги непосредственного взаимодействия поставщика и потребителя и внутренней деятельности поставщика по удовлетворению потребностей потребителя [50, 52].

Связь качества товаров (изделий) с качеством достойного образа жизни человека в современном цивилизованном обществе показана на *рисунке 5.1*.



**Рисунок 5.1 - Основные элементы достойного образа жизни человека в современном цивилизованном обществе [52]**

Качество изделия (товара, продукции) определяется при одновременном рассмотрении и оценке критериев технического уровня (показателей качества) и показателем эффективности использования.

**Показатели качества** – это количественная характеристика одного или нескольких свойств изделия, составляющих его качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям создания и эксплуатации системы.

**Эффективность** – это связь между достигнутым результатом и использованными ресурсами.

**Показатель эффективности использования** изделия, например ЭС, – это количественная характеристика степени достижения полезных результатов при использовании ЭС в конкретной эксплуатационной ситуации с учетом эксплуатационных затрат.

Для количественной оценки качества ЭС часто используют совокупность параметров  $P(n)$  ЭС, подразделяемую на четыре группы [49]:

- 1) параметры (показатели) функционального использования (ПФИ) –  $P_{\Phi}(n_1)$ ;
- 2) технические параметры (показатели) – (ТП) –  $P_T(n_2)$ ;
- 3) параметры (показатели) технической эксплуатации (ПТЭ) –  $P_{\Theta}(n_3)$ ;
- 4) системные параметры (показатели) – (СП).

Параметры функционального использования, характеризующие изделие (ЭС) с точки зрения их потребительской сущности (пригодности товара), называют также **качеством конструкции**.

**Технические параметры ЭС** определяются инженерными решениями, реализуемыми на стадиях исследования, проектирования и изготовления. Их количественные значения, в конечном счете, влияют на ПФИ на стадии эксплуатации.

**Параметры технической эксплуатации** характеризуют ЭС как объект технической эксплуатации или, другими словами, как объект технического обслуживания и ремонта, под которым понимают изделие техники, обладающее потребностью в выполнении определенных операций технического обслуживания и ремонта (ТОиР) и приспособленностью к выполнению этих операций.

**Системные параметры** позволяют представить ЭС как большую техническую систему, состоящую из отдельных ЭУ, связей, и имеющих общую целевую функцию, сложную структуру, и другие системные характеристики.

На *рисунке 5.2* [52] показана типичная зависимость качества конструкции от её цены и себестоимости. Пока разность между ценой и себестоимостью больше нуля продукция рентабельна и в случае продажи продукции будет получена прибыль. Максимум прибыли получается при качестве конструкции  $Q_0$ , при которой эта разность достигает наибольшего значения.

Вопросы повышения качества решают **организации** – группы работников и необходимых средств с распределением ответственности, полномочий и взаимоотношений.



**Рисунок 5.2 - Зависимость качества конструкции от её цены и себестоимости**

Примеры организаций:

- компания,
- корпорация,
- фирма,
- предприятие,
- учреждение,
- благотворительная организация,
- предприятие розничной торговли,
- ассоциация,
- их подразделения или комбинация из них.

Скоординированная деятельность по руководству и управлению организацией применительно к качеству называется **менеджментом качества**.

Система для разработки политики и целей в области качества и достижения этих целей называется **системой менеджмента качества**. Наряду с **системой менеджмента качества**, в организациях могут быть и другие системы управления, например, система менеджмента финансовой деятельности, система менеджмента охраны окружающей среды и т.д. Комплекс стандартов по системному обеспечению качества организационными и организационно-техническими методами ISO (ИСО) 9000 в версии 2000-2008 гг. [50, 54, 55 и др.] имеют в своей основе **восемь принципов менеджмента качества**:

1) **Ориентация на потребителя** (организации должны понимать текущие и будущие потребности потребителей, выполнять их требования и стремиться превзойти их ожидания).

2) **Лидерство руководителя** (руководители обеспечивают единство цели и направления деятельности организации).

3) **Вовлечение работников** дает возможность организации с выгодой использовать их способности.

4) **Процессный подход** – результат достигается эффективнее, когда деятельностью и соответствующими ресурсами управляют как процессом.

5) **Системный подход к менеджменту** (выявление, понимание и менеджмент взаимосвязанных процессов как системы содействуют результативности и эффективности организации при достижении ее целей).

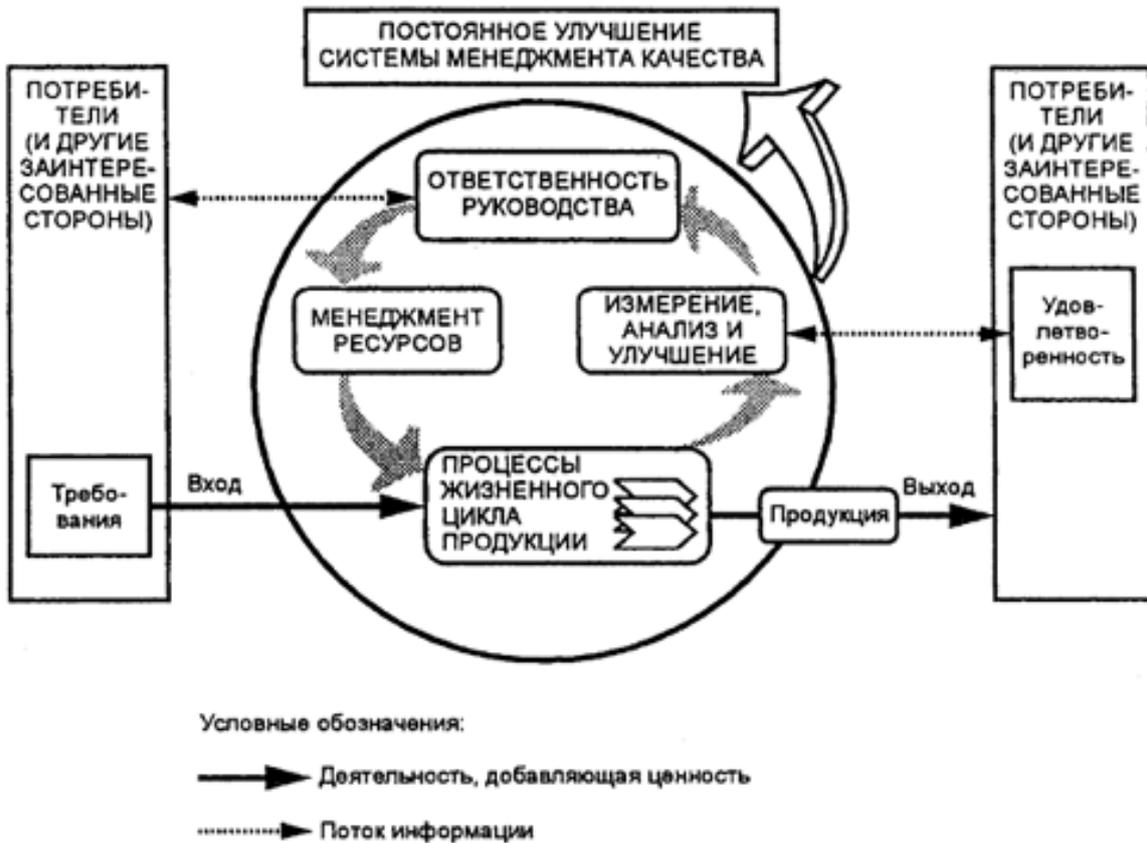
6) **Постоянное улучшение** деятельности организации (решения основываются на анализе данных и информации) следует рассматривать как ее неизменную цель.

7) **Принятие решений, основанное на фактах** (решения основываются на анализе данных и информации).

8) **Взаимовыгодные отношения с поставщиками** (отношения взаимной выгоды повышают способность обеих сторон создавать ценности).

Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе, приведена на *рисунке 5.3*. Модель описана в семействе стандартов ИСО 9000. Она не показывает процессы на детальном уровне. Из модели видно, что заинтересованные стороны играют существенную роль в предо-

ставлении организации входных данных. Наблюдение за удовлетворенностью заинтересованных сторон требует оценки информации, касающейся восприятия заинтересованными сторонами степени выполнения их потребностей и ожиданий [50].



**Рисунок 5.3 - Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе [50]**

Процессы **жизненного цикла (ЖЦ)**, условно изображённые на *рисунке 5.3*, это изменения состояния и качества изделия, начиная с момента его создания (возникновения необходимости его создания) и кончая его полным разрушением (утилизацией).

Стадиями жизненного цикла являются стадии:

1) **исследования и проектирования ЭС**, на которой осуществляются исследования и отработка замысла, формирование уровня качества, разработка проектной и рабочей документации, изготовление и испытание опытного образца, разработка рабочей конструкторской документации для изготовления, обращения и эксплуатации изделия (см. раздел 4.1);

2) **изготовления изделий**, включающую технологическую подготовку производства, становление производства и подготовку изделий к транспортированию и хранению;

3) **обращения изделий**, на которой организуется максимальное сохранение качества готовой продукции в период транспортирования и хранения;

4) **эксплуатации**, которая является основной в ЖЦ и включает целевое использование изделия, в соответствии с назначением, техническое обслуживание и профилактическое восстановление, ремонт и восстановление после отказа. На этой стадии реализуется (функциональное использование), поддерживается (техническое обслуживание) и восстанавливается (техническое обслуживание и ремонт) качество изделия.

На последнем этапе эксплуатации после потери изделием потребительских качеств реализуется операция его утилизации при максимальном использовании утилизированных веществ.

На *рисунке 5.4* приведено типовое распределение стадий и этапов жизненного цикла, из которого видно, что часть этапов и стадий ЖЦ перекрываются во времени, а в процессе ЖЦ идет доработка изделия и осуществляется управление его состоянием и качеством [49].



**Рисунок 5.4 - Типовое распределение стадий и этапов жизненного цикла [49]:**  
*ТЗ* - техническое задание; *ЭП* - эскизный проект; *Хр* - хранение; *Ож* - ожидание; *ФИ* - функциональное использование; *Р* - ремонт; *ТО* - техническое обслуживание

Общие намерения и направление деятельности организации в области качества, официально сформулированные высшим руководством, называют **политикой в области качества**.

Степень соответствия показателей качества изготовленных изделий нормам качества, заданным в конструкторской документации, называют **степенью соответствия техническим требованиям**.

При производстве изделий сумма издержек складывается из издержек производства, расходов на контроль и потерь из-за брака. Благодаря контролю снижаются потери из-за брака, но возрастают расходы на контроль.

**Управление качеством** на предприятии реализуется с использованием кругового цикла: **планирование - осуществление - контроль - управляющее воздействие.**

График управления качеством на предприятии с использованием кругового цикла и с учётом информации о состоянии изделий, полученной во время технического обслуживания в период эксплуатации и другой информации, приведён на *рисунке 5.5*.



**Рисунок 5.5 - График управления качеством на предприятии с учётом информации о состоянии изделий, полученной во время технического обслуживания в период эксплуатации, и другой информации [52]**

**Функция планирования**, подразумевающая проектирование, при анализе рынков сбыта, коэффициента эффективности капитальных затрат, технического уровня предприятия, эффективности контроля, предполагаемой рентабельности, ожидаемой реализации и т.д. и предусматривает определение уровня качества изделий. При этом **качество конструкции**, конкретно воплощенное в цифровые значения установленных нормативов внешнего вида, способов эксплуатации, показателей, характеризующих надёжность, безопасность, ремонтпригодность и т.д., облекается в форму чертежей, технических условий и другую техническую документацию.

Под **проектированием и разработкой** в системе менеджмента качества понимают совокупность процессов, переводящих требования в установ-

ленные характеристики или нормативную и техническую документацию на продукцию, процесс или систему. Иногда проектирование и разработку понимают как синонимы.

Упомянутые показатели, характеризующие надёжность, подразделяются на показатели: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и **сохраняемости**. Это связано с тем, что термин **надёжность** применяется только для **неколичественного описания свойств** [18, 50...52] и с тем, что **надёжность** является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

**Безотказностью** называют свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

**Долговечностью** называют свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**Ремонтпригодностью** называют свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

**Сохраняемостью** называют свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования [18, 51].

**Функция осуществления** – это воплощение запроектированного качества конструкции в готовую продукцию. Она предусматривает проектирование технологических процессов, определение вида используемого оборудования, машин, инструмента, а также методов работы и контроля. Её цель - сохранить степень соответствия продукции техническим требованиям или улучшить эти показатели.

**Функция контроля** осуществляется как на стадии изготовления продукции, так и путем выявления достоинств товара после поступления его на рынок. Иными словами, пригодность товара подтверждается посредством сбыта.

**Контролем** называют процедуру оценивания соответствия путём наблюдения и суждений, сопровождаемых соответствующими измерениями, испытаниями или калибровкой, а **испытанием** – определение одной или нескольких характеристик согласно установленной процедуре. **Процедура** – это установленный способ осуществления деятельности или процесса. Процедуру испытаний описывают в **программе испытаний** или в **методике испытаний**.

При выполнении **контроля** может производиться **анализ** – деятельность, предпринимаемая для установления пригодности, адекватности, **результативности** рассматриваемого объекта для достижения установленных целей. **Результативность** – это степень реализации запланированной дея-

тельности и достижения запланированных результатов. Анализ может включать определение эффективности.

*Примеры:* анализ проектирования и разработки, анализ требований потребителей и анализ несоответствия.

Результатом оценивания может быть **объективное свидетельство** – данные, подтверждающие наличие или истинность чего-либо. Объективное свидетельство может быть получено путем наблюдения, измерения, испытания или другими способами.

Подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены, называется **верификацией**. Термин «**верифицировано**» используется для обозначения соответствующего статуса. Деятельность по подтверждению может включать:

- осуществление альтернативных расчетов;
- сравнение научной и технической документации по новому проекту с аналогичной документацией по апробированному проекту;
- проведение испытаний и демонстраций;
- анализ документов до их выпуска.

Подтверждение на основе представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены, называется **валидацией**. Термин «подтверждено» используется для обозначения соответствующего статуса. Условия применения могут быть реальными или смоделированными.

Контроль может включать и **процесс квалификации**, то есть процесс демонстрации способности выполнить установленные требования. Термин «**квалифицирован**» используется для обозначения соответствующего статуса. Квалификация может распространяться **на работников, продукцию, процессы или системы**.

**Функция управляющего воздействия** подразумевает меры по реализации продукции и соблюдению способов продажи товара, предусмотренных планом, проведение мероприятий по техническому обслуживанию (сервису) в случае, когда реализованный товар не отвечает требованиям качества. Кроме этого она включает:

- сбор информации о качестве реализованного на рынке товара,
- выявление возможностей улучшения качества,
- изучение мнения потребителя о качестве товара для внесения необходимых изменений в процессе производства.

Подход к внедрению системы менеджмента качества состоит из ступеней:

- установление потребностей и ожиданий потребителей и других заинтересованных сторон;
- разработку политики и целей организации в области качества;
- установление процессов и ответственности, необходимых для достижения целей в области качества;

- установление и определение необходимых ресурсов, и обеспечение ими для достижения целей в области качества;
- разработку методов для измерения результативности и эффективности каждого процесса;
- применение данных этих измерений для определения результативности и эффективности каждого процесса;
- определение средств, необходимых для предупреждения несоответствий и устранения их причин;
- разработку и применение процесса для постоянного улучшения системы менеджмента качества.

Итак, управление качеством на предприятии – это вид руководящей деятельности, обеспечивающий проектирование, изготовление и реализацию товаров, обладающих высокой степенью полезности и удовлетворяющих запросы потребителей.

Система обеспечения качества должна охватывать все стадии и этапы жизненного цикла продукции, который называется **петлёй качества** (рисунок 5.6). **Петля (спираль) качества**, предложенная Дж. Джураном – это модель взаимозависимых видов деятельности, влияющих на качество на различных стадиях - от определения потребностей до оценки их удовлетворения.

Стандарты ИСО 9000 создают документированную основу идеологии **Total Quality Management (TQM)** – всеобщего управления качеством для достижения удовлетворенности всех заинтересованных сторон и устойчивого успеха организации.

Методология **TQM** состоит из трех составных частей:

1. Коренная, ключевая система – это средства и методы, применяемые для анализа и исследований.
2. Система технического обеспечения – это программы и приемы, позволяющие обучить персонал владению этими средствами и правильному их применению.
3. Система непрерывного развития самих принципов и содержания TQM.

В частности, японская концепция предусматривает четыре уровня работы по системному обеспечению качества.

**Первый уровень** – оценивается как соответствие или несоответствие структура производства.

**Второй уровень** – продукция должна не только соответствовать стандарту, но и удовлетворять эксплуатационным требованиям, в этом случае она будет пользоваться спросом на рынке.

**Третий уровень** – продукция должна иметь низкую цену при высоком качестве продукции.

**Четвёртый уровень** – продукция должна соответствовать скрытым потребностям покупателя (например, покупателя может привлечь оригинальное оформление) [52].



**Рисунок 5.6 - Система обеспечения качества, охватывающая все стадии и этапы жизненного цикла продукции [52]**

Классификация методов работы по качеству на производстве приведена на *рисунке 5.7*.

Относительная характеристика качества продукции, основанная на сравнении значений показателей качества оцениваемой (новой) продукции с базовыми значениями таких же показателей, определяет **уровень качества продукции**.

**Технический уровень** – относительная характеристика технического совершенства продукции, т.е. совокупности наиболее существенных свойств, определяющих ее качество и характеризующих научно-технические достижения в развитии данного вида продукции.

**Оценка технического уровня** заключается в установлении соответствия продукции мировому, региональному, национальному уровням или уровню отрасли. Соответствие оцениваемой продукции мировому уровню (или другим) устанавливается на основании сопоставления значения показателей технического совершенства продукции и базовых образцов.



**Рисунок 5.7 - Классификация методов работы по качеству на производстве [52]**

## **5.2 Краткие сведения о классификации показателей качества, о методах оценки уровня качества и о сертификации изделий**

В разделе 5.1 уже были даны определения показателей качества, показателей эффективности изделий, технического уровня, а также классификация параметров ЭС, характеризующих качество. Здесь же приведём обобщённую классификацию показателей качества (рисунок 5.8) и краткие сведения о методах оценки уровня качества и о сертификации изделий. Эти вопросы подробно рассмотрены в учебном пособии В.И. Гиссина «Управление качеством продукции» [52]. При их кратком рассмотрении в данном разделе использованы, в основном, материалы из различных литературных источников, собранных в этом пособии, и Федеральный закон о техническом регулировании [39].



Рисунок 5.8 - Обобщённая классификация показателей качества

**По характеризуемым свойствам** применяют следующие группы показателей:

- назначения;
- экономного использования сырья, материалов, топлива и энергии;
- показателей, характеризующих надёжность (показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости);
- эргономические, эстетические;
- технологичности;
- транспортабельности;
- стандартизации и унификации;
- патентно-правовые;
- экологические;
- безопасности.

**Показатели назначения** характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена, и обуславливают область ее применения.

**Показатели экономного использования сырья, материалов, топлива и энергии** характеризуют свойства изделия, отражающие его техническое совершенство по уровню или степени потребляемого им сырья, материалов, топлива, энергии (удельная масса изделия на единицу основного показателя качества, коэффициент использования материальных ресурсов – отношение полезного расхода к расходу на производство единицы продукции, КПД и т.п.).

Перечислим показатели, характеризующие надёжность, методы оценки которых подробно изложены нами в [18].

**Показатели безотказности.** Для необслуживаемых, невозстанавливаемых и неремонтируемых объектов в качестве показателей безотказности используют вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, среднюю наработку до отказа и гамма-процентную наработку до отказа. Для обслуживаемых, восстанавливаемых и ремонтируемых объектов в качестве показателей безотказности используют среднюю наработку на отказ, параметр потока отказов и осреднённый параметр потока отказов.

К комплексным показателям безотказности относятся коэффициенты:

- готовности;
- оперативной готовности;
- технического использования и сохранения эффективности.

**Показатели долговечности.** К ним относятся:

- средний ресурс;
- средний срок службы;
- гамма-процентный ресурс;
- гамма-процентный срок службы.

**Показатели сохраняемости.** К ним относятся:

- средний срок сохраняемости;
- гамма-процентный срок сохраняемости.

**Показатели ремонтпригодности.** К ним относятся:

- вероятность восстановления;
- среднее время восстановления;
- гамма-процентное время восстановления;
- интенсивность восстановления;
- средняя трудоёмкость восстановления.

**Эргономические показатели** характеризуют удобство и комфорт потребления (эксплуатации) изделия.

**Эстетические показатели** характеризуют информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, совершенство производственного исполнения. Оценка эстетических показателей качества конкретных изделий проводится экспертной комиссией.

**Показатели технологичности** характеризуют свойства продукции, обуславливающие оптимальное распределение затрат, материалов, труда и времени при технологической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации продукции (удельная трудоёмкость изготовления изделий; удельная материалоемкость и др.).

**Показатели транспортабельности** характеризуют приспособленность продукции к транспортированию (средняя продолжительность и средняя трудоёмкость подготовки продукции к транспортированию и т. д.).

**Показатели стандартизации и унификации** (см. подраздел 4.3.2) характеризуют насыщенность продукции стандартными, унифицированными и оригинальными частями, а также уровень унификации по сравнению с другими изделиями.

**Патентно-правовые показатели** важны при определении конкурентоспособности продукции и характеризуют степень обновления технических решений, использованных в продукции, их патентную защиту (показатели: патентной защиты, патентной чистоты, территориального распространения и т.д.).

**Экологические показатели** характеризуют уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потребле-

нии продукта (содержание вредных примесей, выбрасываемых в окружающую среду; вероятность выбросов вредных частиц, газов, излучений и т.д.).

**Показатели безопасности** характеризуют особенности продукции, обеспечивающие безопасность человека (обслуживающего персонала) при эксплуатации или потреблении продукции, монтаже, обслуживании, ремонте, хранении, транспортировании и т. д. (вероятность безопасной работы человека в течение определенного времени; время срабатывания защитных устройств и т.д.).

**Экономические показатели** – это затраты на изготовление и испытания опытных образцов, себестоимость изготовления продукции, затраты на расходные материалы при эксплуатации технических объектов и т.д.

Показатели качества, как и физические величины, могут иметь размерность или быть безразмерными.

Область деятельности, связанная с количественной оценкой качества продукции, называется **квалиметрией**<sup>23</sup>. Оценка уровня качества может быть представлена этапами, причём содержание и объём работ на каждом из этапов существенным образом зависят от цели оценки качества продукции:

- выбор цели оценки уровня качества;
- выбор номенклатуры и базовых показателей качества;
- выбор способов и определение значений показателей качества;
- выбор метода оценки уровня качества;
- оценка уровня качества;
- обоснование рекомендаций;
- принятие решений.

Классификация методов определения показателей качества продукции приведена на *рисунке 5.9*.



**Рисунок 5.9 - Классификация методов определения показателей качества продукции**

<sup>23</sup> от латинского слова *qualis* - какой по качеству, и греческого *μετρίο* - измеряю

**Измерительный метод** основан на информации, получаемой с использованием технических измерительных средств.

**Расчётный метод** базируется на использовании информации, получаемой с помощью теоретических или эмпирических зависимостей.

**Органолептический метод** строится на использовании информации, получаемой в результате анализа восприятий органов чувств: зрения, слуха, обоняния, осязания и вкуса.

**Регистрационный метод** основывается на использовании информации, получаемой путем подсчета числа определенных событий, предметов или затрат, например отказов изделия при испытаниях.

В зависимости от источника информации **методы определения значений показателей качества продукции** подразделяют на *традиционный, экспертный и социологический*.

**Традиционный метод** осуществляется должностными лицами учреждений.

**Экспертный метод** оценки показателей качества продукции реализуется группой специалистов-экспертов, например дизайнеров, дегустаторов, товароведов и т. п. Определяются значения показателей качества, которые не могут быть определены более объективными методами, например некоторых эргономических и эстетических показателей.

**Социологический метод** определения показателей качества продукции используется фактическими или потенциальными потребителями продукции. Сбор мнений потребителей производится путем опросов или с помощью анкет-вопросников, конференций и т. д.

**Методы оценки уровня качества** продукции одного вида могут быть: дифференциальными, комплексными или смешанными.

При использовании **дифференциального метода** осуществляется сравнение показателей качества оцениваемого вида продукции с соответствующими базовыми показателями. Показатель качества оцениваемой продукции  $P_1$  сопоставляется с полем качества базового образца  $P_{1Б}$ ,  $P_2$  – с  $P_{2Б}$ , ...,  $P_n$  – с  $P_{nБ}$  ( $n$  - число сравниваемых показателей качества). Для каждого из показателей рассчитываются относительные показатели качества оцениваемой продукции по формулам:

$$Q_i = \frac{P_i}{P_{iБ}}, \quad (5.1)$$

$$Q_i = \frac{P_{iБ}}{P_i}, \quad (5.2)$$

где  $P_i$  – числовое значение  $i$ -го показателя качества оцениваемой продукции;  $P_{iБ}$  – числовое значение  $i$ -го показателя качества базового образца.

Формула (5.1) используется, когда увеличению абсолютного значения показателя качества соответствует улучшение качества продукции, а формула

(5.2), когда увеличению этого показателя соответствует ухудшение качества продукции.

**Пример 5.1.** Срок службы телевизора, изготовленного на первом заводе – 5 лет; изготовленного на втором заводе – 11 лет; базовое значение этого показателя качества – 10 лет. Увеличение срока службы означает улучшение качества, т.е. определяя относительный показатель качества по (5.1), получим:

$$Q_{CP1} = \frac{P_{CP1}}{P_{iB}} = \frac{5}{10} = 0.5; \quad Q_{CP2} = \frac{P_{CP2}}{P_{iB}} = \frac{11}{10} = 1.1.$$

Значит, на первом заводе рассматриваемый показатель качества ниже базового, а на втором – выше.

**Пример 5.2.** Трудоемкость изготовления радиостанции составляет 100 нормо-часов, а базовое значение трудоемкости – 90 нормо-часов. Тогда согласно (5.2):

$$Q_{TP} = \frac{P_{TPB}}{P_{TP}} = \frac{90}{100} = 0.9,$$

т.е. рассмотренный единичный показатель качества изделия ниже базового.

Встречаются случаи, когда трудно оценить уровень качества. В таких ситуациях все показатели целесообразно разделить по значимости на две группы. В первую группу следует включить показатели, определяющие наиболее существенные свойства продукции, а во вторую - второстепенные. Если в первой группе все относительные показатели больше или равны единице, а во второй - большая часть показателей также не меньше единицы, то можно сказать, что уровень качества оцениваемой продукции не ниже базового образца. В противном случае оценку уровня качества необходимо проводить другим методом, например *комплексным*.

**Комплексный метод** оценки уровня качества предусматривает использование комплексного (обобщенного показателя качества). Этот метод применяется в том случае, когда оказывается целесообразным уровень качества выразить только одним числом. Уровень качества по комплексному методу определяется отношением обобщенного показателя качества оцениваемой продукции  $Q_{OЦ}$  к обобщенному показателю базового образца  $Q_B$ , т.е.:

$$Q = \frac{Q_{OЦ}}{Q_B} \quad (5.3)$$

Сложность комплексной оценки заключается в объективном нахождении обобщенного показателя. Во всех случаях, когда имеется возможность выявления характера взаимосвязей между учитываемыми показателями и коэффициентами их связей с обобщающими показателями качества оцениваемой продукции следует определить функциональную зависимость [52]:

$$Q = f(n, p_i) \cdot \gamma_1. \quad (5.4)$$

Вид зависимости может определяться любым из возможных методов, в том числе и экспертным. Обычно в этих случаях за обобщающий показатель

принимается один из главных показателей назначения продукции (например, производительность ЭВМ, удельная себестоимость, ресурс и т.д.).

**Пример 5.3.** Комплексные показатели транспортабельности партии телевизоров можно представить как объём партии (в м<sup>3</sup>) или как её массу (в кг). Объём партии телевизоров:

$$Q_v = nLdh, \quad (5.5)$$

где  $L, d, h$  – единичные показатели (габаритные размеры телевизоров в упаковке), а  $n$  – их число. Масса партии телевизоров:

$$Q_m = \rho Q_v = \rho nLdh, \quad (5.6)$$

где  $\rho$  – единичный показатель качества телевизоров – их усреднённая плотность в упаковке  $\rho \approx 2 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Дифференциальный и комплексный методы оценки уровня качества продукции не всегда решают поставленные задачи. При оценке сложной продукции, имеющей широкую номенклатуру показателей качества, с помощью дифференциального метода практически невозможно сделать конкретный вывод, а использование только комплексного метода не позволяет объективно учесть все значимые свойства оцениваемой продукции. В этих случаях для оценки уровня качества продукции применяют единичные и комплексные показатели качества, одновременно используя и комплексный, и дифференциальный методы, т.е. оценку производят **смешанным методом**. Сущность и последовательность оценки этим методом заключается в следующем:

1. Единичные показатели качества объединяют в ряд групп, для которых определяют групповой комплексный показатель качества. Наиболее значимые единичные показатели можно в группы не включать, а рассматривать отдельно. Объединение показателей в группы должно производиться в зависимости от цели оценки.

2. Найденные величины групповых комплексных и отдельно выделенных наиболее важных единичных показателей подвергают сравнению с соответствующими значениями базовых показателей, т.е. применяют принципы дифференциального метода.

С помощью измерений обычно (но не всегда) определяют единичные показатели качества. Патентно-правовые и экономические показатели, показатели однородности продукции, стандартизации и унификации получают расчетным путем. Путем расчёта, как было изложено выше, можно найти комплексные показатели.

**Сравнение показателей качества**, значения которых измерены или получены расчетным путем, может производиться **по шкале интервалов** либо **по шкале отношений**. При сравнении показателей качества, как по шкале интервалов, так и по шкале отношений учитывается характер их динамики. Например, при сравнении показателей качества по шкале отношений характер их динамики учитывается следующим образом: отношение числовых значений показателей качества составляется так, чтобы при повышении

качества по сравнению с исходным оно было больше единицы, при снижении - меньше единицы (формулы 5.1, 5.2, 5.3).

На рисунке 5.10 приведён график сравнения восьми единичных показателей разных признаков качества, полученных для проектируемого изделия, со стандартными показателями для данного типа изделий с использованием шкалы отношений.



**Рисунок 5.10 - График сравнения восьми единичных показателей разных признаков качества, полученных для проектируемого изделия, со стандартными показателями для данного типа изделий с использованием шкалы отношений**

Результаты сравнения (рисунок 5.10) свидетельствуют о том, что качество проектируемого изделия выше требований стандарта к изделиям рассматриваемого типа, то есть уровень качества выше стандартного. Если вместо требований национального стандарта использовать значения единичных показателей качества, полученных для лучших в мире изделий рассматриваемого типа, то получим один из трёх возможных результатов **оценки технического уровня** (превосходит мировой уровень; соответствует мировому уровню; уступает мировому уровню).

На рисунке 5.11 приведена схема оценки уровня качества продукции смешанным методом.

Результаты оценки используют при:

- разработке новой (модернизированной) продукции;
- обосновании требований, закладываемых в техническое задание (ТЗ) и нормативную документацию (НД);
- принятии решения о постановке продукции на производство;
- обосновании целесообразности замены или снятия продукции с производства;
- формировании предложений по экспорту и импорту.

При оценке технического уровня **вначале устанавливают номенклатуру показателей** исходя из целей оценки с учётом показателей, указанных в международных, национальных, зарубежных и отечественных стандартах, проспектах, патентной и конъюнктурной экономической документации, и т.п. Номенклатура показателей включает **классификационные и оценочные показатели**. **Классификационные показатели** характеризуют назначение и область применения. Исходя из значений этих показателей образцы, имеющиеся на мировом рынке, относят к группе аналогов оцениваемой продукции. Для сопоставления оцениваемого и базового образцов они не используются, так как не характеризуют качество продукции. К ним относятся: качественные признаки, определяющие назначение товара или наличие дополнительных устройств, параметры, определяющие типоразмер продукции или ее класс. **Оценочные показатели** применяются непосредственно для сопоставления оцениваемого образца с базовыми и характеризуют потребительские свойства, надежность, безопасность, экономичность, экологические свойства.

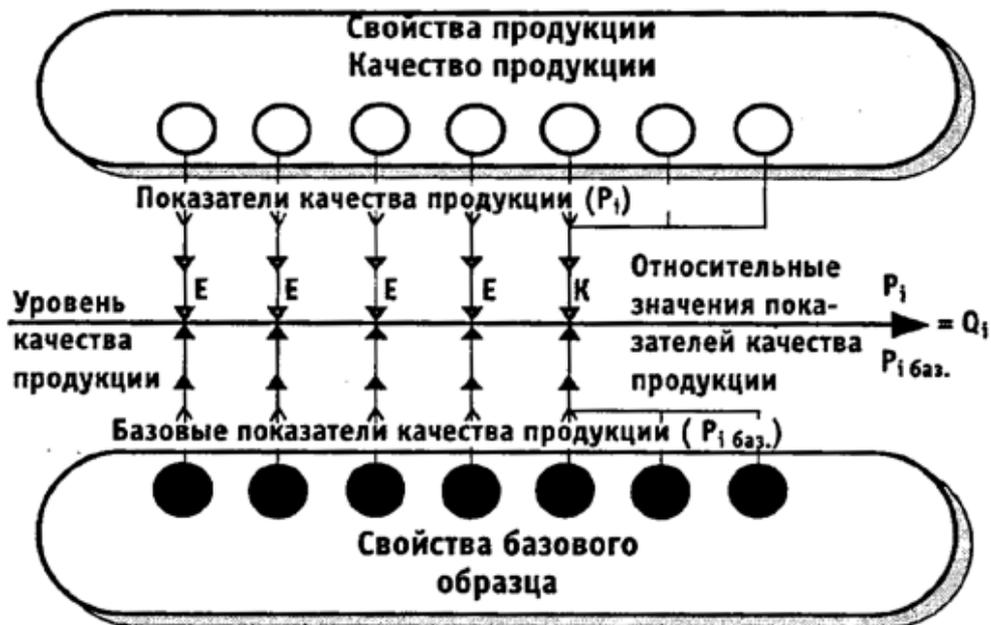


Рисунок 5.11 - Схема оценки уровня качества продукции смешанным методом:

$E$  - единичный показатель качества;  $K$  - комплексный показатель качества

После определения номенклатуры показателей осуществляют **формирование группы аналогов и установление значений их показателей**. Все включаемые в группу аналоги и оцениваемая продукция должны иметь одинаковые значения классификационных показателей. В группу входят:

- при оценке разрабатываемой продукции – перспективные образцы;
- при оценке выпускаемой продукции – образцы, реализуемые на мировом рынке, значения показателей которых устанавливаются на основе имеющейся документации и (или) по результатам испытаний.

Затем осуществляют **выделение базовых образцов** из группы аналогов. В качестве базовых образцов выделяют лучшие из группы аналогов на основе метода попарного сопоставления последовательно всех аналогов по значениям оценочных показателей.

После этого поэтапно производят **сопоставление оцениваемого образца с базовыми**. На первом этапе проверяют соответствие продукции и значений ее показателей международным стандартам. Продукция, не соответствующая международным стандартам, признается уступающей мировому уровню. При выполнении указанных требований переходят ко второму этапу, на котором сопоставляют оцениваемую продукцию с каждым базовым образцом по значениям оценочных показателей на основе метода попарного сопоставления. При этом сопоставление может привести к одному из следующих результатов:

- оцениваемая продукция уступает базовому образцу, если она уступает ему хотя бы по одному из показателей;

- оцениваемая продукция превосходит базовый образец, если она превосходит его хотя бы по одному показателю, не уступая ему ни по одному из оставшихся показателей;

- оцениваемая продукция равноценна базовому образцу, если значения всех ее показателей совпадают со значениями показателей базового образца.

Если по одним показателям оцениваемая продукция уступает базовому образцу, а по другим его превосходит, то считается, что результат сопоставления не определен.

В случае, когда оцениваемая продукция:

- превосходит хотя бы один, но не каждый базовый образец – она не уступает мировому уровню;

- уступает хотя бы по одному, но не каждому базовому образцу – она не превосходит мировой уровень.

В том и другом случае имеется неопределенность отнесения к одной из трех градаций.

Если в результате сопоставления оцениваемой продукции с каждым базовым образцом и с совокупностью базовых образцов выявлена неопределенность отнесения продукции к градациям, то проводят последующие этапы сопоставления. По итогам проведения этих этапов оценки технического уровня дают заключение о принадлежности продукции к одной из трех градаций.

В случае, когда не существует аналогов оцениваемой продукции, она считается соответствующей мировому уровню, если характеризуется принципиально новыми техническими решениями, которые защищены авторскими свидетельствами и (или) патентами.

В заключение в зависимости от поставленных целей и полученных результатов **подготавливают предложения для принятия решения** по разработке, постановку на производство и совершенствованию продукции.

Чтобы проектируемые изделия, помимо пользы, не приносили ощутимого вреда, они должны соответствовать требованиям документов, называемых

**техническими регламентами.** Согласно Федеральному закону о техническом регулировании [39] технические регламенты принимаются в целях защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих потребителей в заблуждение.

Технические регламенты устанавливают (с учетом степени риска причинения вреда) минимально необходимые требования, обеспечивающие:

- безопасность излучений;
- биологическую безопасность, взрывобезопасность;
- механическую безопасность;
- пожарную безопасность;
- промышленную безопасность;
- термическую безопасность;
- химическую безопасность;
- электрическую безопасность;
- ядерную и радиационную безопасность;
- электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования;
- единство измерений.

Технический регламент должен содержать исчерпывающий перечень продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, в отношении которых устанавливаются его требования, и правила их идентификации для целей применения технического регламента. В техническом регламенте в целях его принятия могут содержаться правила и формы **оценки соответствия**. Не включенные в технические регламенты требования к продукции, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, правилам и формам оценки соответствия, правилам идентификации, требования к терминологии, упаковке, маркировке или этикеткам и правилам их нанесения не могут носить обязательный характер. Требования технических регламентов и утверждаются **Правительством Российской Федерации**.

Технические регламенты подразделяют на общие и специальные.

Требования **общего технического регламента** обязательны для применения и соблюдения в отношении любых видов продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации. Требованиями **специального технического регламента** учитываются технологические и иные особенности отдельных видов продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации. Несоблюдение технических регламентов карается по законам Российской Федерации.

Соответствие установленным требованиям для большинства видов продукции должно быть удостоверено путем **обязательного документального подтверждения соответствия**.

Приоритетной формой подтверждения является **декларирование соответствия** первой стороной сделки, т.е. производителем (поставщиком, продавцом) продукции, документом является оформляемая самим производителем «Декларация о соответствии».

Для продукции, представляющей повышенную опасность для потребителя, являющегося второй стороны сделки, и общества (например, лекарственные средства, военная техника) технические регламенты предусматривают **обязательную сертификацию соответствия** третьей независимой стороной. В качестве такой стороны выступает аккредитованный в установленном порядке орган по сертификации данного вида продукции. Документом является «Сертификат соответствия».

Наряду с обязательной существуют **добровольная сертификация** [39, 52]. Обязательная сертификация является средством контроля за безопасностью продукции, а добровольная сертификация способствует повышению конкурентоспособности.

**Подтверждение соответствия** осуществляется на основе **принципов**:

- доступности информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;
- недопустимости применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования технических регламентов;
- установления перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определенных видов продукции в соответствующем техническом регламенте;
- уменьшения сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя;
- недопустимости принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определенной системе добровольной сертификации;
- защиты имущественных интересов заявителей;
- соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия;
- недопустимости подмены обязательного подтверждения соответствия добровольной сертификацией.

**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: Изд-во ТГУ, 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. отд-ние, 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. Доценко Н.С., Соболев В.В. Долговечность элементов радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Энергия, 1973.
14. Защита радиоэлектронной аппаратуры от влияния внешних климатических воздействий / Под ред. Г. Юбиша. – М.: Энергия, 1970.
15. Захарченко 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. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭА и ЭВА. – М.: Высшая школа, 1991.
20. Малинский В.Д. Контроль и испытание радиоаппаратуры. – М.: Сов. Радио, 1970.

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.
23. Пестряков В.Б., Кузенков В.Д. Радиотехнические системы. – М.: Радио и связь, 1984.
24. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Мир, 1996.
25. Козлов В.Г., Кондаков А.К. Конструирование радиоэлектронных средств. Часть 5. – Томск: ТИАСУР, 1993.
26. Цибина Н.Н. Методика художественного конструирования лицевых панелей радиоэлектронной аппаратуры. – М.: МИРЭА, 1988.
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. Справочник по эргономике / Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1980.
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. пособие с опорными сигналами. – Томск: ТУСУР, 2002.
34. Козлов В.Г. Функциональные устройства и электрорадиоэлементы. Курс лекций. Часть 2. – Томск: ТУСУР, 2003.
35. Поверхностный монтаж. Электронные компоненты. Краткий каталог. – М.: ЗАО ОСТЕК, 2000.
36. Монтаж на поверхность. Элементная база. Под ред. И.О. Шурчкова. – М.: Издательство стандартов, 1993.
37. Электронные компоненты. Каталог. – М.: Платан, 2003.
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 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
51. ГОСТ Р 53480-2009 «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 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования.
55. ГОСТ Р ИСО 9004-2010. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества.
56. ГОСТ Р ИСО 9004-2010. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности.
57. Ожегов С.И. Словарь русского языка. М: Сов. энциклопедия, 1980.
58. Козлов В.Г., Бацула А.П., Кобрин Ю.П. Основы проектирования электронных средств: Общие принципы проектирования. Учебное пособие для студентов специальности 210201 – «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» / Под ред. В.Г. Козлова. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2005. - 150 с.

Учебное издание

Козлов Виталий Григорьевич,  
Кобрин Юрий Павлович,  
Чернышев Александр Анатольевич

**Основы проектирования электронных средств**

Учебное пособие

Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 8,64

Отпечатано в Томском государственном университете  
систем управления и радиоэлектроники  
634050, Томск, пр. Ленина, 40. Тел. (3822) 533018, 532184