

УДК 681.321(075.8)  
ББК 32.971  
Т 41

ISBN 5-7038-1765-X

Рецензенты:

С.Н. Ильин – главный инженер СКБ ВТ

В.В. Агафонцев - к.т.н., зав. каф. «Информационные технологии»  
(ИНЖЭКОН)

Тимошевская О.Ю.

Конструкторско-технологическое обеспечение производства  
ЭВМ:

Учебное пособие

ППИ, 2008 – 104 с.: ил.

Учебное пособие по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ» предназначено для студентов Псковского государственного политехнического института.

В учебном пособии изложены общие принципы организации проектирования электронной аппаратуры различного назначения, рассмотрены задачи конструкторского и технологического проектирования: обеспечение надёжной работы аппаратуры в различных условиях, правила конструирования различных уровней ЭВМ и систем. Приведена модульная стандартизация электронного оборудования.

Учебное пособие может использоваться студентами родственных специальностей и специализаций других форм обучения.

УДК 681. 321(075.8)  
ББК 32.971  
Т 41

ISBN 5-7038-1765-X

© Псковский государственный  
политехнический институт,  
2008.  
© О.Ю. Тимошевская, 2008.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>5</b>
<b>1. Условия эксплуатации средств вычислительной техники .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1. Факторы, влияющие на работоспособность ЭВМ и систем.....</b>	<b>8</b>
1.1.1. Климатические факторы .....	9
1.1.1.2. Климатические зоны.....	14
1.1.2. Механические факторы.....	17
1.1.3. Радиационные факторы.....	18
<b>1.2. Влияние условий эксплуатации на работоспособность ЭВМ и систем.....</b>	<b>19</b>
1.2.1. Стационарные ЭВМ .....	19
1.2.2. Транспортируемые ЭВМ .....	20
1.2.3. Портативные ЭВМ.....	25
<b>2. Требования, предъявляемые к конструкции ЭВМ.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1. Показатели конструкции ЭВМ и систем.....</b>	<b>29</b>
<b>3. Элементная и конструктивно-технологическая базы ЭВМ.....</b>	<b>32</b>
<b>и систем .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1. Основные уровни конструкции ЭВМ .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2. Принципы конструирования радиоэлектронной аппаратуры.....</b>	<b>35</b>
<b>3.3. Классификация интегральных микросхем .....</b>	<b>36</b>
3.3.1. Классификация и система обозначений интегральных микросхем.....	36
<b>3.4. Стандартизация модульного конструирования .....</b>	<b>40</b>
3.4.1. Микросборки .....	44
3.4.2. Модули первого уровня .....	45
<b>3.5. Общие сведения о печатных платах .....</b>	<b>46</b>
3.5.1. Конструктивные характеристики печатных плат.....	47
3.5.2. Электрические характеристики печатных плат.....	50
3.5.3. Материалы печатных плат.....	50
3.5.4. Изготовление оригиналов и фотошаблонов .....	52
<b>4. Обеспечение надежной работы конструкции электронной аппаратуры.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1. Защита конструкции ВТ от механических воздействий.....</b>	<b>54</b>
4.1.1. Расчет на прочность конструктивных элементов .....	57
<b>4.2. Защита средств ВТ от воздействия влажности.....</b>	<b>58</b>
<b>4.3. Защита средств ВТ от температурных воздействий.....</b>	<b>60</b>
4.3.1. Теплоотвод методом кондукции .....	61
4.3.2. Теплоотвод методом конвекции .....	64
4.3.3. Теплоотвод лучеиспусканием .....	66
4.3.4. Выбор способа охлаждения .....	66

<b>4.4. Защита средств ВТ от воздействия помех.....</b>	<b>68</b>
<b>4.5. Надёжность конструкции электронной аппаратуры .....</b>	<b>75</b>
4.5.1. Вероятность безотказной работы электронной аппаратуры....	78
4.5.2. Повышение надёжности электронной аппаратуры резервированием .....	79
4.5.3. Расчёт надёжности электронной аппаратуры.....	79
<b>5. Организация проектирования электронной аппаратуры.....</b>	<b>82</b>
<b>Техническая документация .....</b>	<b>82</b>
<b>5.1. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) .....</b>	<b>83</b>
<b>5.2. Этапы разработки ЭВМ и систем .....</b>	<b>84</b>
<b>5.3. Конструкторская документация .....</b>	<b>90</b>
<b>5.4. Общие требования к выполнению конструкторских.....</b> <b>графических документов .....</b>	<b>92</b>
<b>5.5. Общие требования, предъявляемые к выполнению .....</b> <b>текстовых документов .....</b>	<b>93</b>
<b>5.6. Эксплуатационная конструкторская документация.....</b>	<b>95</b>
<b>5.7. Схемная документация .....</b>	<b>96</b>
5.7.1. Виды и типы схем.....	96
5.7.2. Условные графические обозначения двоичных логических элементов .....	97
5.7.3. Правила выполнения электрических схем.....	101
<b>Список литературы .....</b>	<b>103</b>

## Введение

Широкая автоматизация технологических процессов на основе применения автоматизированных станков машин и механизмов, унифицированных моделей оборудования, робототехнических комплексов и вычислительной техники, составляет одно из главных направлений научно-технического прогресса.

Создание средств вычислительной техники, способных управлять приборами, станками, оборудованием, механизмами немыслимо без применения научно-обоснованных методов конструирования. Только правильно сконструированная ЭВМ способна, во-первых – работать, во-вторых – управлять различными объектами.

Значение изучения дисциплины “Конструирование ЭВМ и систем” – все более возрастает с расширением областей применения вычислительной техники, когда от ЭВМ требуется не только большая производительность, память, “гибкость поведения”, но и возможность встраивания непосредственно в объект контроля и управления.

В ходе изучения дисциплины «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ» студенты познакомятся:

- с типовыми этапами проектирования ЭВМ;
- с условиями эксплуатации электронно-вычислительной техники;
- с основными типами конструктивных решений ЭВМ;
- с основами конструктивных расчетов.

Как правило, проектирование ЭВМ в дальнейшем ведет к:

- оформлению конструкторской документации;
- грамотному расчету надежности проектируемого изделия;
- выполнению машинным способом схем электрических принципиальных.

Для того чтобы правильно оформить конструкторскую документацию, необходимо иметь представление:

- о её системе;
- о современных методах автоматизации при подготовке конструкторской документации с применением ЭВМ;
- о взаимосвязи дисциплины “Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ и систем” с другими общепрофессиональными и специальными дисциплинами;
- о новейших достижениях и перспективах развития в области конструирования ЭВМ;

Конструирование, являясь составной частью процесса разработки ЭВМ, представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных работ, при выполнении которых необходимы: учет разносторонних требований к конструкции машин, знания современной технологии, схе-

мотехники и импульсной техники, сопротивления материалов, теории надежности и других теоретических и прикладных дисциплин.

Более чем сорокалетняя история становления и развития электронно-вычислительной техники, включает в себя создание, развитие и постепенно вытеснение нескольких поколений ЭВМ. При этом каждое поколение предопределялось появлением новой элементной базы (электронные лампы, полупроводниковые приборы, интегральные схемы, микропроцессорные наборы и БИС – большие интегральные схемы).

Однако для всех поколений ЭВМ характерной чертой является, и являлось разбиение конструкции и общей схемы машины на отдельные узлы, оформляемые в виде конструктивно-законченных элементов.

Рост степени интеграции микросхем увеличивает число типов таких устройств и элементов и снижает их тиражность в пределах одной ЭВМ.

Последнее достижение микроэлектроники – микропроцессоры секционированные и с фиксированной разрядностью, однокристалльные микро-ЭВМ – расширило области применения ЭВМ, явилось основой для создания микро-ЭВМ. Для этих ЭВМ отдельные элементы схемотехнически различны, и, как правило, не повторяются. Диапазон их применения весьма широк – управление объектами как бытового, так и космического назначения.

Рост степени интеграции микросхем, в которых размеры отдельных логических элементов соизмеримы с расстоянием между ними, ставит перед разработчиками ряд задач, решение которых зависит, прежде всего, от полноты учета всех факторов, влияющих на процесс обработки и хранения информации. Эти факторы имеют различную физическую природу.

При разработке конструкции ЭВМ требуется решения задач противодействия климатическим, механическим и радиационным воздействующим факторам, обеспечение теплового режима, работы отдельных элементов устройств в целом, обеспечение помехоустойчивости и нормальных электрических режимов работы.

## **1. Условия эксплуатации средств вычислительной техники**

Конструкция современной ЭВМ и системы – комплекс различных по природе деталей, определенным образом, объединенных электрически и механически друг с другом. Этот комплекс деталей способен выполнять заданные функции в заданных условиях и режимах эксплуатации. От правильного выбора этих деталей, материалов, из которых они изготовлены, правильного их размещения, закрепления и объединения зависят важнейшие характеристики машин (быстродействие, объем, масса, потребляемая мощность, допустимые условия эксплуатации, надежность, стоимость и т.д.).

Широкое внедрение ВТ во все сферы человеческой деятельности предопределяет необходимость разработки таких ЭВМ, которые бы имели широкие возможности применения, малую стоимость, небольшую длительность этапа разработки и внедрения ее в производство, максимальную технологичность.

Конструктор – разработчик ЭВМ для обеспечения этих требований в качестве исходных данных использует электрическую схему машины, вид объекта установки машины и общие сведения об уровне производства, предназначенного для выпуска разработанной машины малыми, средними и большими сериями.

От вида объекта установки ЭВМ зависит, какие из факторов в большей степени будут влиять на ее работоспособность.

При определении стоимости ЭВМ, ее надежности, удобства наладки и ремонта, трудоемкости и технологичности имеет большое значение уровень производства.

### **1.1. Факторы, влияющие на работоспособность ЭВМ и систем**

Электронно-вычислительные машины и системы обычно эксплуатируются в различных условиях, имеющих различную физико-химическую среду и природу. Условия эксплуатации изменяются в очень широких пределах.

Рассмотрим факторы, которые влияют на работоспособность ЭВМ. Они подразделяются на следующие: климатические, механические и радиационные.

К климатическим факторам относят:

- изменение температуры и влажности окружающей среды;
- тепловой удар;
- увеличение или уменьшение атмосферного давления;
- наличие ветра или движущегося потока пыли, песка;

- присутствие активных веществ в окружающей атмосфере;
- наличие солнечного облучения;
- наличие грибковых образований (плесени), микроорганизмов;
- наличие насекомых и грызунов;
- наличие взрывоопасной и воспламеняющейся атмосферы;
- дождь, брызги;
- присутствие в окружающей среде озона.

К механическим факторам относят:

- воздействие вибрации, ударов;
- воздействие линейного ускорения;
- акустический удар;
- наличие невесомости.

К радиационным факторам относят:

- космическую радиацию;
- ядерную радиацию от реакторов, атомных двигателей;
- облучение потоком гамма – фотонов;
- облучение быстрыми нейтронами, бета – частицами, альфа – частицами, протонами, дейтронами.

Некоторые из этих факторов проявляют себя независимо от остальных, а некоторые факторы – в совместном действии с другими факторами той или иной группы. Например, наличие движущихся потоков песка неизбежно приведет к возникновению вибрации в ЭВМ.

### ***1.1.1. Климатические факторы***

#### **Температура окружающей среды**

Повышение температуры среды, окружающей ЭВМ и ее узлы, связано с одной стороны – с повышением температуры атмосферы, с другой стороны – с выделением теплоты при работе микроэлектронных компонентов.

Как правило, температура внутри ЭВМ больше наружной и это необходимо учитывать при разработке ее конструкции, ведь понижение температуры связано только с изменением температуры атмосферы.

Для того чтобы ЭВМ была работоспособной, необходимо определить допустимый температурный диапазон. При этом ЭВМ должна сохранять работоспособность во включенном, то есть рабочем состоянии.

Для исключения варианта выхода ЭВМ из строя в процессе хранения и транспортировки (в нерабочем состоянии), её конструкцию выполняют такой, чтобы она выдерживала температуры, несколько больше их допустимого диапазона. Такие температуры назы-

вают предельными температурами, они характеризуют тепло и холодопрочность конструкции ЭВМ.

Верхние и нижние значения температуры атмосферы окружающей среды при эксплуатации ЭВМ, а также температуры воздуха или другого газа при ее хранении и транспортировании разделяют по степеням жесткости, таб.1:

Таблица 1

Воздействующий фактор	Значения		Степень жёсткости
		Градусы, °С	
Рабочие температуры	Верхнее	40	I
		45	II
		50	III
		55	IV
		60	V
		70	VI
		85	VII
		100	VIII
		125	IX
		155	X
		200	XI
		250	XII
		315	XIII
		400	XIV
		500	XV
	Нижнее	+1	I
		-5	II
		-10	III
		-25	IV
		-30	V
		-40	VI
		-45	VII
		-60	VIII
		-85	IX
Предельные температуры	Верхнее	+50	I
		+60	II
	Нижнее	-50	I
		-60	II
		-85	III



### **Тепловой удар**

Тепловой удар – это резкое изменение температуры окружающей среды. При этом время изменения температуры измеряется минутами, а ее перепад – десятками градусов. Такой вид воздействия на ЭВМ крайне нежелателен.

### **Атмосферное давление**

Обычно ЭВМ устанавливается, в зависимости от назначения, на различных объектах. Эти объекты могут располагаться повсюду, как в горах, так и на равнинах, на полюсе или на корабле. И естественно, что атмосферное давление среды окружающей работающую ЭВМ – разное, в зависимости от высоты над уровнем моря. Давление же внутри корпуса постоянно, если корпус машины хорошо герметизирован.

На уровне моря отмечено минимальное давление 91 кПа и максимальное 107,5 кПа. Номинальное значение атмосферного давления – 101,3 кПа. С увеличением высоты над уровнем моря, давление падает.

Рассмотрим таблицу 2, отображающую степени жесткости данного воздействующего фактора:

Таблица 2

Степень жёсткости	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Пониженное давление в, Па	$7 \cdot 10^4$	$53,5 \cdot 10^3$	$26,7 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$6,7 \cdot 10^2$	133,3	13,3	0,13	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Повышенное давление в, Па	$0,147 \cdot 10^6$	$0,294 \cdot 10^6$	-	-	-	-	-	-	-	-

### **Влажность**

Самым агрессивным воздействующим фактором является влажность. Этот фактор выступает в виде: дождя, брызг, водяных паров, содержащихся в атмосфере, образование росы, инея с последующим его оттаиванием.

Вода в атмосфере всегда загрязнена активными веществами: углекислыми и сернистыми солями кальция, магния, железа, хлористым натрием, газами (азот, кислород, углекислый газ). Если обсуждать морскую воду, то можно сказать, что в морской воде концентрация соли достигает 5%. Состав речной воды зависит от состава воды источников, их питающих и химической природы размываемых пород.

Капли дождя и брызг о корпус вызывают механические вибрации. Выпадение росы на поверхность аппаратуры происходит при

определенной температуре, значение которой зависит от относительной влажности атмосферы.

Зависимости температуры выпадения росы от относительной влажности представлено в таблице 3.

Таблица 3

Относительная влажность, %	100	80	60	40	20
Точки росы, °C	15,5	12,1	7,8	2,0	-6,6

Содержание водяных паров выражается как процент от величины насыщения ими атмосферы. Существует понятие, абсолютная влажность атмосферы – это есть фактическая масса водяного пара в 1 м<sup>3</sup>. Количество водяного пара в атмосфере сравнительно мало, и если общее содержание влаги остается неизменным, то относительная влажность при повышении температуры уменьшается. Например, если 1 дм<sup>3</sup> воздуха содержит 0,07 г влаги при 4,4 °C (насыщение), то при более высокой температуре значение относительной влажности будет изменяться, как представлено в таблице 4:

Таблица 4

Температура воздуха, °C	4,4	10	15,5	21	27,5	32	38
Относительная влажность, %	100	71	50	36	26	19,5	14,5

Также, количество водяных паров в атмосфере уменьшается с ростом высоты над уровнем моря. В верхних слоях атмосферы воды практически нет.

Степени жесткости, относительной влажности и соответствующих температур, представлены в таблице 5.

Воздействия влажности на металлы и изоляционные материалы по физической природе различно, но имеет одинаковый результат - разрушение исходной структуры вещества, в металлах – коррозии, а в изоляционных материалах – за счет влагопоглощения.

Таблица 5

Степень жесткости	I	II	IV	VI	VIII
Относительная	80	98	100	98	100

влажность, %					
Температура, °С	25	25	25	35	35
Конденсация влаги	нет	нет	нет	нет	да

### **Пыль и песок**

Пыль и песок в атмосфере обычно передвигаются вместе с движущимися потоками воздуха, постепенно равномерно оседая на все предметы, находящиеся в окружающей среде.

Вблизи городов и тепловых электростанций содержание пыли в атмосфере увеличивается.

Рассмотрим состав пыли – основную часть её состава представляют продукты сгорания (зола, сажа, продукты сгорания серы). Также присутствуют частицы текстильного и растительного происхождения. Размер частиц, образующихся после производственных процессов – достигает 20 мкм. Наряду с этим 95% всего числа пылинок составляют частицы размером 5 мкм.

Концентрация пыли с увеличением высоты над уровнем моря убывает по экспоненциальному закону. Средний уровень концентрации пыли в нашей широте 100 пылинок в 1 см<sup>3</sup> воздуха, на высоте - 1,5 км в среднем 1 пылинка в 1 см<sup>3</sup>.

Сухие частицы пыли вследствие адсорбирования ионов могут быть заряжены. А заряженные частицы оседают преимущественно на деталях, находящихся под постоянным потенциалом.

Песок состоит из округленных частиц кварца размером 0,06 – 0,8 мм. Наличие песка в атмосфере заметно, особенно в районах с жарким, сухим климатом, его концентрация увеличивается с увеличением скорости движения масс воздуха.

### **Грибковые образования**

Эти образования относят к низшим растениям, которые не имеют фотосинтеза. Отсутствие хлорофилла является причиной того, что для своего роста такие растения используют органические вещества, а в процессе жизнедеятельности – выделяют ферменты (метаболиты), ускоряющие процессы разложения этих веществ. В состав грибковых образований входит вода (до 90%), но, несмотря на это, они гигроскопичны и во влажной атмосфере интенсивно поглощают воду.

Грибковые образования довольно быстро разрастаются. Идеальные условия для их роста – относительная влажность 80-100%, температура 25-35°С, неподвижность воздуха, отсутствие света (ультрафиолетовой и инфракрасной частей спектра, тормозящих их развитие).

### **Солнечное облучение**

Энергия солнечных лучей, падающих на земную поверхность, составляет около  $1,4 \cdot 10^3$  Вт/м<sup>2</sup> и сосредотачивается в основном в области длин волн: 0,2-0,5 мкм.

### **Активные вещества в атмосфере**

Содержание активных веществ в атмосфере значительно больше вблизи морей и океанов, нежели во внутриконтинентальных районах. Если сравнивать жилые и нежилые районы, то, естественно, содержание активных веществ вблизи городов, тепловых электростанций, крупных производств и т. д. гораздо больше, нежели вне их. К ним относятся: сернистый газ, хлористые соли, пары азотной кислоты, щелочей и др.

### ***1.1.1.2. Климатические зоны***

Действие климатических факторов на работоспособность ЭВМ определяется климатической зоной или высотой над уровнем моря, где эксплуатируется машина.

**Климатической зоной** – называют участок поверхности Земли, на котором в течение 30 – 50 лет наблюдаются постоянные, характерные метеорологические условия. Различают следующие климатические зоны:

- умеренную (У);
- холодную (ХЛ);
- тропическую влажную (ТВ);
- тропическую сухую (ТС);
- умеренно-холодную морскую (М);
- тропическую морскую (ТМ).

Зоны умеренного климата: Европа, Западная и Южная Сибирь, равнинный Китай, Канада, США, северная Япония, южные районы Австралии, Африки и Южной Америки – районы между 30-й и 60-й параллелями Южного и Северного полушарий.

Здесь среднегодовое изменение температуры от  $-30^{\circ}$  до  $+35^{\circ}$ С с максимальными значениями  $\pm 40^{\circ}$ С; среднесуточный перепад температуры  $11^{\circ}$ С; средняя относительная влажность 80% при температуре  $+20^{\circ}$ С (влажность может достигать до 90%); обледенение, образование инея, росы, наличие тумана; изменение давления воздуха от 86 до 106 кПа.

Зоны холодного климата: Средняя и Восточная Сибирь, Аляска, Северная Канада, Гренландия, Антарктида, Арктика.

Здесь характерно наличие отрицательных температур в течение большей части года, средняя минимальная температура  $-50^{\circ}$ С; средняя максимальная температура  $+30^{\circ}$ С; годовой перепад температур

для некоторых районов  $80^{\circ}\text{C}$ , среднесуточный может достигать до  $40^{\circ}\text{C}$ .

Наиболее холодная местность – Антарктида, на станции Фрамгейме зарегистрирована среднегодовая температура  $-25^{\circ}\text{C}$ .

Частые и большие перепады температур приводят к образованию инея, тумана обледенения. В летние месяцы появляется множество насекомых (гнус, комары). Скорость ветра при пурге достигает до  $40 - 100$  м/сек. Из всего количества выпадающих осадков (до  $200$  мм) более половины приходится на снег.

Зоны тропического сухого климата: засушливые районы Средней Азии, Турция, Иран, Афганистан, Аравия, Северная и Центральная Африка, Южная Африка – пустыня Калахари, Центральная Австралия, Мексика, средняя часть Южной Америки.

Здесь характерны высокая температура и низкая относительная влажность воздуха (в среднем  $10 - 20\%$ ) в течение большей части года. Температура воздуха изменяется от  $+60^{\circ}\text{C}$  днем до  $-10^{\circ}\text{C}$  ночью, суточное изменение температур достигает  $40^{\circ}\text{C}$ . Температура земли и поверхности аппаратуры на солнце достигает  $+75^{\circ}\text{C}$ . Большую часть года в районах сухого климата дуют ветры. Движущиеся потоки захватывают частицы песка, поднимают на большую высоту ( $3000$  м) и переносят на значительное расстояние с большой скоростью. Частицы пыли и песка остаются во взвешенном состоянии в течение нескольких недель и медленно осаждаются на поверхность аппаратуры. Для этих районов характерно также наличие грызунов, насекомых и пресмыкающихся.

Зоны тропического влажного климата: Индия, Индокитай, Индонезия, тропическая Экваториальная Африка, Америка и бассейн Амазонки.

Здесь характерна среднегодовая температура от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $+25^{\circ}\text{C}$  при минимальной  $+3^{\circ}\text{C}$  и максимальной  $+40^{\circ}\text{C}$ . Перепад температур за сутки не превосходит  $+10^{\circ}\text{C}$ . Относительная влажность воздуха достигает до  $100\%$  при температуре  $+35^{\circ}\text{C}$ . Часты грозы, туман, роса, обилие насекомых, грызунов, пресмыкающихся.

Различают два типа тропического климата: влажный тропический лес и районы тропических морей.

Для леса характерны относительное постоянство температуры днем и ночью (перепад  $2 - 3^{\circ}\text{C}$ ), высокая влажность –  $85\%$ . Для морей характерно наличие большой концентрации солей в атмосфере (например, наличие  $\text{NaCl}$  может достичь  $5$  мг в  $1\text{ м}^3$  на расстоянии  $45$  м от линии прибоя). Высокая влажность способствует развитию микроорганизмов, а загрязненная солями атмосфера является причиной ускоренной коррозии металлов и разложения органических веществ.

Характеристики окружающей аппаратуру атмосферы зависят не только от вида климатической зоны, но и от высоты над уровнем моря. Это должно учитываться при конструировании ЭВМ в горных условиях и на космических объектах.

Атмосферу разделяют на зоны в соответствии с климатическими изменениями: ближайшая к поверхности Земли зона – тропосфера – простирается вверх до 16 км, следующая за ней – стратосфера – до 40 км, затем мезосфера – до 80 км и ионосфера – свыше 80 км.

Давление воздуха с ростом высоты падает и на границе между тропосферой и стратосферой оно равно - 10,6 кПа, рис.1. Содержание влаги в атмосфере с увеличением высоты также уменьшается. На высоте 15 км относительная влажность воздуха 2–3%.

Закон изменения температуры с увеличением высоты сравнительно сложен. До высоты 11 км, температура падает на каждые 300 м примерно на 2°C, затем останавливается на уровне 60°C до высоты 32 км и потом равномерно повышается на каждые 800 м на 7°C. На высоте 50–60 км температура почти не меняется, оставаясь +80°C. Затем снова уменьшается до -30°C на высоте 80 км и далее только повышается.

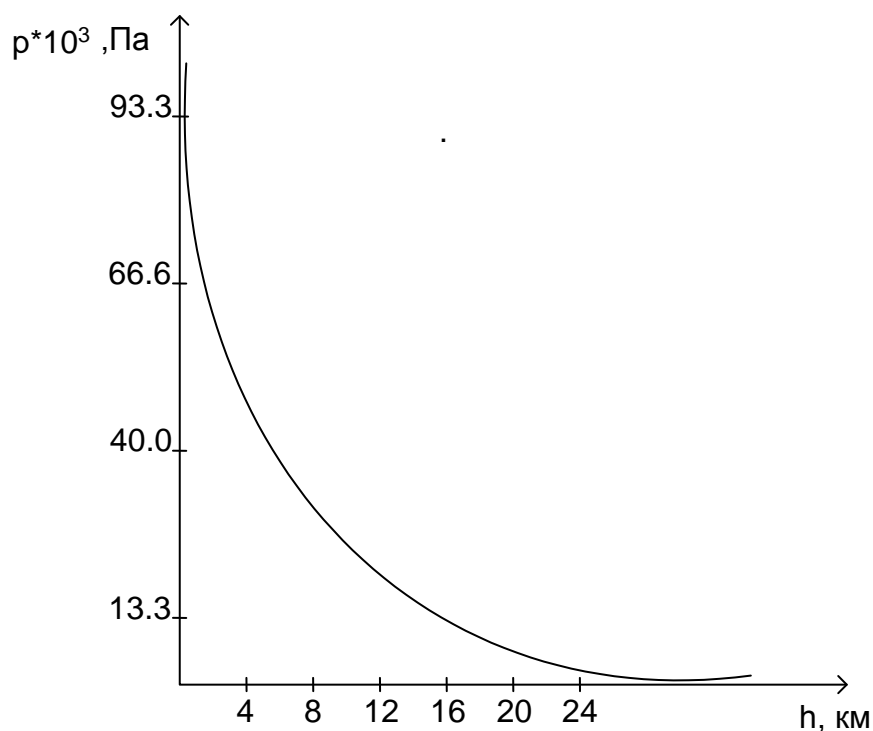


Рис.1. График зависимости давления воздуха от высоты над уровнем моря.

На высоте 15-48 км расположена зона озона, поглощающего около 5% солнечной энергии (в основном поглощается коротковолно-

вая часть электромагнитного спектра, т.е. ультрафиолетовые лучи с длиной волны ниже 4000 Å).

Исследование околоземного и космического пространства в последние годы позволило установить два радиационных пояса около Земли. Первый пояс располагается на высоте 2300–5500 км с пиковой интенсивностью на уровне 3860 км; второй пояс находится на высоте 12800 – 19300 км с максимальной интенсивностью на уровне 16000 км. Оба пояса простираются над геомагнитным экватором Земли и до широт 50-60°. Более высокие широты свободны от присутствия заряженных частиц с высокой интенсивностью.

### *1.1.2. Механические факторы*

#### **Вибрация.**

В процессе эксплуатации, а также при транспортировании, ЭВМ подвергается воздействию вибраций. Вибрации представляют собой периодические колебания, которые возникают в ЭВМ при контакте с источником колебаний. Особо опасные колебания или вибрации, частота которых близка к собственным колебаниям узлов и элементов конструкции (из-за резонансных явлений).

Способность машины противодействовать их влиянию, определяет ее вибропрочность и виброустойчивость.

Виброустойчивость – определяет способность ЭВМ устойчиво работать в условиях воздействия вибрации.

Вибропрочность – характеризует качество конструкции машины, т. е. способность противостоять разрушающему воздействию вибрации в нерабочем состоянии и продолжать нормально работать при включении после снятия вибрационных нагрузок.

Параметры вибрации – частота и ускорение. Значение этих характеристик для виброустойчивости ЭВМ выше, нежели для вибропрочности.

#### **Механический удар**

Механический удар наблюдается в тех случаях, когда объект, где установлена ЭВМ, претерпевает быстрое изменение ускорения. Параметры удара: ускорение и длительность удара. Удары бывают одиночные и многократные. Значения параметров ударных нагрузок разделяются по степени жесткости. Ударные нагрузки менее опасны, чем вибрации.

К механическим факторам также относятся линейное ускорение, акустический удар и невесомость.

#### **Линейное ускорение**

Линейное ускорение отрицательно влияет на работоспособность ЭВМ, оно выражается в единицах ускорения свободного падения – g. Линейное ускорение менее опасно, чем вибрации.

#### **Акустический удар**

Акустический удар можно характеризовать давлением звука, мощностью колебаний источника звука и силой звука.

Важный параметр звука – спектр звуковых частот, различный для всех видов источников. Так, звук ракетного двигателя имеет широкий спектр и почти равномерное распределение мощности по частотам спектра.

#### **Невесомость**

Невесомость проявляется в космических аппаратах и искусственных спутниках Земли. Она характеризуется отсутствием гравитационных сил или равновесием центробежной силы и силы притяжения Земли.

Влияние невесомости (длительной) на работоспособность ЭВМ сравнительно мало изучено. Невесомость оказывает отрицательное действие в местах соприкосновения движущихся поверхностей механических деталей (при этом изменяются свойства смазывающих масел) и в местах крепления массивных блоков, установленных на земле с начальными напряжениями, обусловленными их собственными массами.

### ***1.1.3. Радиационные факторы***

#### **Космическая радиация.**

Космическая радиация выражается в возникновении процесса ионизации в материалах и проявляется в ЭВМ, устанавливаемых на космических объектах. Основная характеристика космической радиации – мощность потока и интегральный поток.

Мощность потока – количество частиц, падающих на площадку в  $1 \text{ см}^2$  за 1 сек. Интегральный поток – полное число частиц, прошедшее через площадку в  $1 \text{ см}^2$  за все время облучения.

#### **Облучение ядерными частицами**

Характер облучения зависит от вида ядерных частиц, его составляющих и их комбинаций. Различают облучение альфа-частицами, бета-частицами, гамма-частицами, протонами, дейтронами, быстрыми нейтронами и осколками ядер.

Степень облучения гамма-фотонами характеризуется дозой облучения и ее мощностью. При дозе  $2,58 \times 10^{-4}$  Кл/кг воздуха, поглощается энергия в количестве  $83 \times 10^{-7}$  Дж. Действие облучения другими частицами, характеризуется потоком частиц  $\Phi = dN/dt$  и плотностью



потока  $\phi = d\Phi/dS$ , и длительностью потока –  $t$  ( $N$  - число частиц,  $S$  - площадь прохождения потока).

### **Почему опасно облучение?**

Облучение ядерными частицами может вызвать в веществах **обратимые, полуобратимые и необратимые явления**.

Обратимые явления возникают с началом облучения, сохраняются на протяжении его действия и исчезают с его прекращением.

Полуобратимые явления возникают с началом облучения, увеличиваются с его действием и постепенно исчезают после его прекращения.

Необратимые явления возникают в процессе действия определенной дозы облучения, не исчезают и не уменьшаются после его прекращения.

Появление радиационных факторов и степень их воздействия на различные предметы и материалы зависит от природы самого материала. Наиболее устойчивы к радиации – металлы – вследствие высокой концентрации в них свободных носителей зарядов. У большинства металлов при радиационном облучении возрастает предел текучести и снижается ударная вязкость.

Механические и диэлектрические свойства органических материалов при облучении ухудшаются. Сопротивление резисторов и электрическая прочность конденсаторов уменьшаются при воздействии на них радиационного заряда. При облучении полупроводниковых материалов, в них образуются дополнительные носители зарядов (фотоны), искажающие процессы, проходящие в р-п-структурах.

## **1.2. Влияние условий эксплуатации на работоспособность ЭВМ и систем**

При рассмотрении климатических факторов, влияющих на ЭВМ и системы, мы не учитывали разнообразия использующихся ЭВМ, тактики использующихся ЭВМ и систем. По тактике использующиеся ЭВМ можно разделить на транспортируемые и стационарные. Каждая из таких групп включает в себя ЭВМ различных классов и назначения.

### ***1.2.1. Стационарные ЭВМ***

Это машины, эксплуатируемые в отапливаемых и неотапливаемых помещениях, бункерах, подвалах, помещениях с повышенной влажностью, на открытом воздухе, в производственных цехах.

По тактико-техническим данным – это машины, представляющие собой многомашинные комплексы, большие универсальные, управляющие, настольные, встраиваемые ЭВМ, микрокалькуляторы.

Условия эксплуатации и транспортирования (в нерабочем состоянии) таких машин характеризуется широким диапазоном рабочих (от  $-50$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ) и предельных (от  $-50$  до  $+65^{\circ}\text{C}$ ) температур,

- влажностью – до 90-98 %,
- вибрацией – до 120 Гц (при 4-6 g),
- наличием многократных – до 5g и одиночных – до 75g ударов,
- воздействием дождя и соленого тумана с содержанием воды до  $3\text{г/м}^3$ .

### 1.2.2. Транспортируемые ЭВМ

Это машины, устанавливаемые и эксплуатируемые на автомобилях и автоприцепах, железнодорожном и гусеничном транспорте, морские и бортовые ЭВМ.

Специфика работы этого вида машин предопределяет повышенное воздействие механических факторов, в основном вибрации и ударов. Каждый вид транспорта имеет собственные вибрационные характеристики, характер изменения которых различен, рис.2.

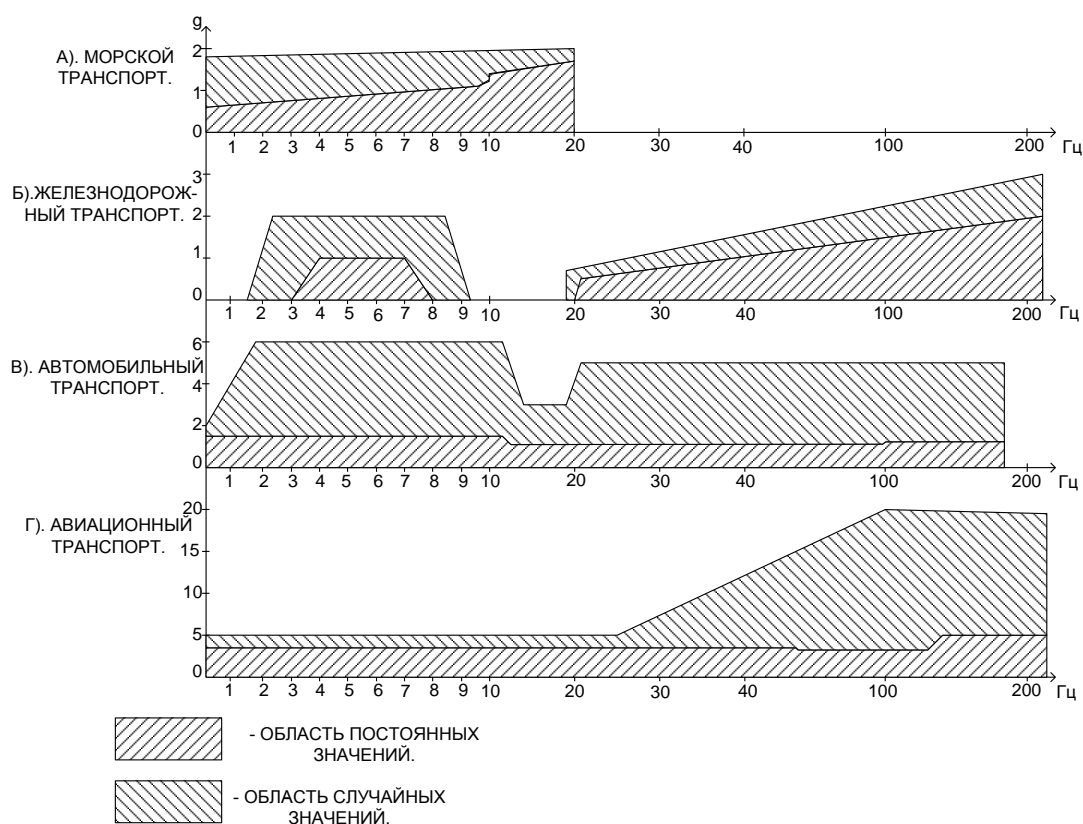


Рис.2. Вибрационные характеристики различных видов транспорта.

Для предупреждения повреждения ЭВМ, необходимо, чтобы вся машина и отдельные ее части имели собственные резонансные частоты, лежащие вне диапазона частот вибрации транспортного средства, на котором машина эксплуатируется или перевозится.

На ЭВМ, устанавливаемых на машинах или прицепах, может воздействовать вибрация до 200Гц и удары, вызванные неровной дорогой.

При движении железнодорожного транспорта возможны внезапные толчки, как следствие изменения скорости движения (удары до 40g). Биение колес о стыки рельсов вызывает вибрацию с частотой до 400Гц и ускорение до 2g.

Особо жесткие условия создаются для ЭВМ, эксплуатируемых в гусеничном транспорте (танках, транспортерах, самоходной артиллерии). Здесь вследствие стука гусениц частота вибраций может достигать до 7000Гц с амплитудой  $\pm 0,025$  мм.

Удары, вызванные неровной дорогой, отдачей орудия при выстреле, попаданием снаряда в корпус, могут быть большой силы и сопровождаться вибрацией. Кроме этого, постоянное воздействие акустического шума до 150 дБ.

Если ЭВМ расположена на оружейной площадке, на перевозочных средствах или в служебных помещениях, то наибольшая опасность – это ударная волна. Величина вибраций и ударов, сообщаемых ударной волной зависит от массы и площади поверхности ЭВМ. Чем больше масса и меньше поверхность ЭВМ, тем эффект действия ударной волны меньше и наоборот.

**Морские ЭВМ** – это такие ЭВМ, которые устанавливаются на больших, обычно тихоходных и малых быстроходных судах, на подводных лодках, на оружейных площадках береговой артиллерии.

Характерными условиями для работы на таких объектах являются: наличие вибраций, ударных нагрузок и морской среды.

Вибрация на судне может быть вызвана работой винтов, работой главного и вспомогательного двигателей и гидродинамическими силами, возникающими при продвижении судов по волнам. На малых судах вибрация обусловлена работой двигателя и биением волн о борт корабля. Диапазон частот вибраций не превосходит 25 Гц. Амплитуда вибраций невелика и зависит от места на судне.

На крейсере три участка с различными вибрационными характеристиками: это носовой, кормовой и основной, рис.3. Кормовой участок (1/8 длины корабля) подвергается вибрациям с частотой 0-25 Гц (максимальная амплитуда 25 мм); носовой участок (1/10 длины корабля) – вибрациям, не превышающим 20Гц (амплитуда 15 мм на частоте не ниже 5 Гц); основной участок - вибрациям с частотой до 20 Гц (максимальная амплитуда 0,6 мм).

Быстроходные катера и другие мелкие суда подвержены вибрациям с большей частотой. Задний кормовой участок (1/8 длины) подвергается вибрациям с частотой до 150 Гц (максимальная амплитуда – 0,3 мм на частоте 10 Гц), остальная часть корабля – вибрациям с частотой до 1000 Гц (максимальная амплитуда 0,15 мм на частоте 10 Гц).

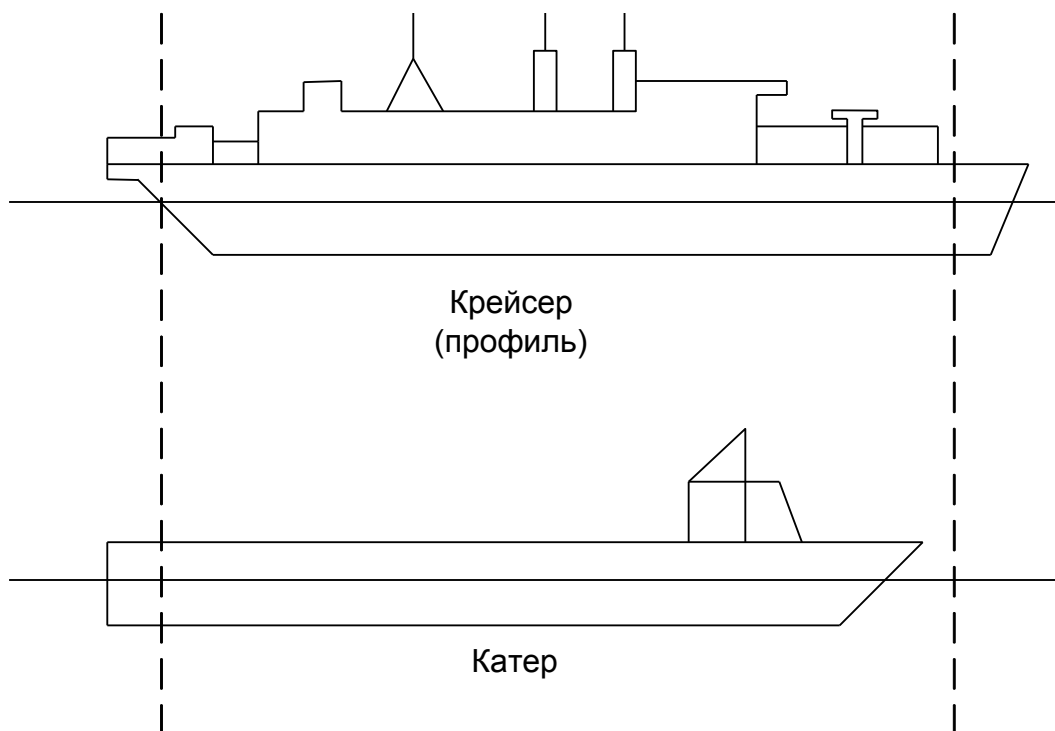


Рис. 3. Разделение контура корабля на участки с различными вибрационными характеристиками.

Морская среда, окружающая ЭВМ, находящуюся на кораблях содержит большое количество различных активных веществ, постоянно действующих на ее работоспособность. Поэтому ЭВМ этого класса должны обладать высокой коррозионной стойкостью, плеснестойкостью, водо- и брызгозащищенностью.

На ЭВМ, установленные на оружейных площадках береговой артиллерии, воздействуют такие же факторы, как и на ЭВМ, находящиеся на сухопутных площадках. Дополнительный фактор – наличие агрессивной атмосферы.

**Бортовые ЭВМ** - это ЭВМ, устанавливаемые на бортах самолетов, ракет различных классов, искусственных спутниках Земли космических аппаратов.

По общим характеристикам бортовое оборудование в основном не отличается от других типов машин, но имеются некоторые требования и особенности к бортовой аппаратуре. По назначению бортовые ЭВМ – машины управляющие, работающие в замкнутом контуре управления объектом. По виду их использования их разделяют на машины, устанавливаемые в беспилотные (ракеты, ИСЗ) и пилотируемые объекты (самолеты, космические корабли, орбитальные станции).

Машины, устанавливаемые в беспилотные объекты, заменяют операторов на борту объекта и связаны со всем комплексом технических средств объекта через систему датчиков и исполнительных механизмов. Получая информацию от датчиков, они ее обрабатывают и выдают соответствующие команды исполнительным механизмам. Такие машины имеют небольшое ОЗУ и большое ПЗУ (память констант).

Машины, устанавливаемые в пилотируемые объекты, обладают характеристиками как управляющих (при работе в “автопилоте”), так и универсальных ЭВМ. Ввод задачи в машину осуществляется оператором, для получения быстрого ответа, по данной ситуации. Такие машины обладают большим объёмом ОЗУ.

Конструктивно машины обеих групп практически не отличаются друг от друга, так как к ним предъявляются одинаковые условия. Для машин второй группы необходимо наличие пульта управления.

На самолетах аппаратура, как правило, находится в фюзеляже. На нее воздействуют нагрузки с частотой до 200Гц и ускорением до 10g. Амплитуда колебаний достигает 10мм.

Близость двигателя увеличивает частоту вибраций до 500Гц. Хвостовая часть подвергается вибрациям до 150Гц, амплитудой до 2,5 мм плюс акустический шум до 130-150 дБ при частоте 50-10000 Гц.

На рис.4 представлено расположение основных узлов бортовой системы управления самолётом, в состав которой входит управляющая ЭВМ, оснащённая пультом управления.

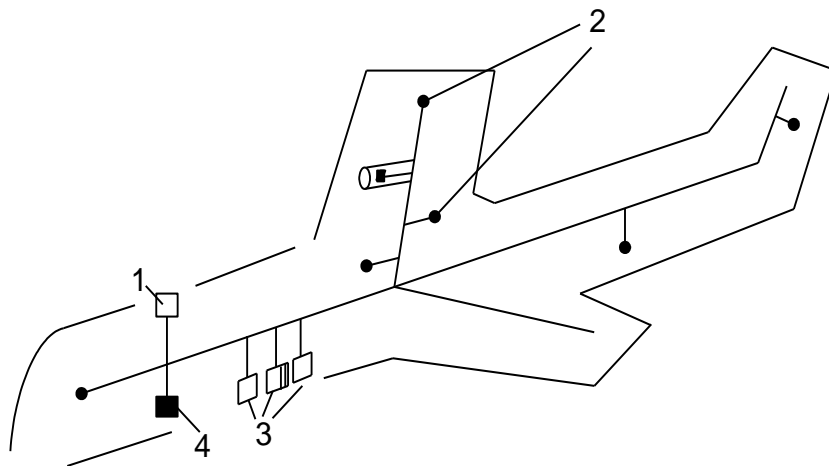


Рис.4. Схема системы управления самолётом.

- 1 - панель управления;
- 2 - датчики и исполнительные механизмы;
- 3 - ЭВМ;
- 4 - аппаратура системы автопилота.

Аппаратура на космических аппаратах – составная часть управления движением всей системы. Эта система в основном решает задачи ориентации и стабилизации объекта в пространстве и наведения (навигации) при перемещении в космическом пространстве, выхода на околопланетные орбиты, маневрирования с целью сближения с объектом или при посадке на поверхность планет. Схема управления космического корабля имеет связующее анализирующее звено – это управляющая микро ЭВМ. Этот класс ЭВМ в процессе полета практически не подвергается воздействию механических нагрузок. Однако при транспортировке на орбиту или при работе двигателей, воздействие механических факторов становится значительным.

Аппаратура, которую устанавливают на борт ракет различных классов и назначения, находится в наиболее неблагоприятных условиях с точки зрения воздействия вибраций, ударов, ускорений.

Вибрации ракет в полете носят сложный характер. Он определяется совместным воздействием работы ракетного двигателя и аэродинамических эффектов. Он охватывает широкий диапазон частот. Работавшие двигатели ракет на жидком топливе имеют частотный диапазон вибраций в несколько сотен герц. С уменьшением мощности двигателя, частота вибраций увеличивается и может достигать до нескольких тысяч герц. Поэтому на аппаратуру, установленную на ИСЗ, при доставке на орбиту воздействие вибраций происходит на всем диапазоне частот.

Наибольшую вибрацию вызывают двигатели малых ракет на твердом топливе, а также большие ракеты на жидком топливе. Частота вибраций может достигать 2500 Гц при ускорениях 20g. Характер вибраций – синусоидальный.

В момент запуска ракеты и при её полёте на бортовую аппаратуру воздействует акустический шум, уровень которого достигает 150дБ.

Большие ракеты на жидком топливе развивают ускорение не превышающее 15g. Максимальное ускорение ракет, на управляемой орбите не превышает 10g, а малых ракет на твердом топливе - 50g.

Атмосферное давление в негерметизированной аппаратуре в процессе движения ракет изменяется от нормального до практически нулевого.

### ***1.2.3. Портативные ЭВМ***

Группа ЭВМ, занимающая промежуточное положение между транспортируемыми ЭВМ и стационарными – называются портативными ЭВМ. Появление этой группы ЭВМ явилось результатом широкого внедрения больших интегральных схем (БИС) в аппаратuroстроении.

Самыми массовыми представителями портативных ЭВМ, являются микрокалькуляторы. Небольшие габариты, малая мощность потребления, высокая надежность и сравнительно небольшая стоимость делают его незаменимым для проведения расчетов, не требующих программирования. К портативным ЭВМ можно отнести и простейшие по выполняемым функциям вычислители и контроллеры, управляющие работой бытовой техники.

Условия работы портативной техники должны соответствовать зоне комфорта для человека, которая характеризуется:

- температурой окружающей среды 18-24°C (291-297 K);
- уровнем акустического шума – 70-85 дБ;
- влажность 20-90 % (с высотой над уровнем моря до 3000 м).

Портативная аппаратура по массе делится на: легкую (до 29Н – для мужчин и до 16Н для женщин), среднюю (до 147Н и до 80Н) и тяжелую (до 390Н и до 216Н).

На портативную аппаратуру может действовать вибрация с частотой до 20 Гц с ускорением до 2g и удары до 10g при длительности 5-10 мс.

**По совокупности значений климатических, механических и радиационных факторов, стационарные и транспортируемые ЭВМ делятся на следующие группы:**

I группа – стационарные ЭВМ и системы, работающие в отапливаемых наземных и подземных помещениях и сооружениях;

II группа – стационарные ЭВМ и системы, работающие на открытом воздухе или в не отапливаемых, наземных и подземных сооружениях;

III группа – транспортируемые (возимые), установленные в автомобилях, мотоциклах, в сельскохозяйственной дорожной и строительной технике и работающие на ходу;

IV группа – возимые установленные во внутренних помещениях речных судов и работающие на ходу;

V группа - транспортируемые (возимые), установленные в подвижных железнодорожных объектах и работающие на ходу;

VI группа – транспортируемые и портативные, предназначенные для длительной переноски людьми на открытом воздухе или в неотапливаемых наземных и подземных сооружениях, работающих на ходу.

VII группа – портативные, предназначенные для длительной переноски людьми на открытом воздухе или в отапливаемых помещениях (наземных и подземных), работающие на ходу.

Каждой из групп аппаратуры соответствует совокупность климатических и механических факторов, которой она должна соответствовать.

## **2. Требования, предъявляемые к конструкции ЭВМ**

Все разработанные ЭВМ должны отвечать тактико-техническим, конструктивно-технологическим, эксплуатационным, надёжностным и экономическим требованиям. Все требования взаимосвязаны и оптимальное их удовлетворение представляет сложную инженерную задачу.

### **Тактико-технические требования.**

Эти требования обычно содержатся в техническом задании на машину и включают в себя такие характеристики как: быстродействие, объём оперативной памяти (ОЗУ), объём постоянной и внешней памяти, адресность команд, разрядность машинного числа, точность выполнения операций. В основном данные требования удовлетворяются на ранних этапах разработки ЭВМ, когда определяется её состав и структура, математическое обеспечение, основные требования к отдельным устройствам.

### **Конструктивно-технологические требования.**

К ним относятся: обеспечение функционально-узловой принципа построения конструкции ЭВМ, технологичность, минимальная номенклатура комплектующих изделий, минимальные габариты и масса, предусмотрение мер защиты от воздействия климатических и механических факторов, ремонтоспособность.

Функционально-узловой принцип используется для машин третьего поколения и выше. Он заключается в разбиении машины на функциональные узлы, которые могут быть выполнены в виде идентичных конструктивно-технологических единиц. Применение этого принципа конструирования позволяет автоматизировать процессы изготовления и контроля конструктивных единиц и упростить их сборку, наладку и ремонт.



Понятие технологичности включает в себя множество положений и правил, определяемых возможностями предприятия изготовителя ЭВМ и влияющих на эффективность ее производства и эксплуатацию. Конструктив одной машины может быть технологичен на одном предприятии и нетехнологичен на другом. Все зависит от уровня производства. Если предприятие имеет первоклассное оборудование, развиты передовые технологические процессы и новейшие достижения, то любая ЭВМ может быть технологична.

Понятие технологичности связано с понятием экономичности воспроизведения в условиях производства. Наиболее технологичные конструкции, как правило, и наиболее экономичны, даже с точки зрения сокращения сроков освоения в производстве.

В технологичности используются методы взаимозаменяемости, регулируемости, контроллепригодности, инструментальной доступности и т.д. Машина считается технологичной, если в ней предусмотрена минимальная номенклатура комплектующих изделий, материалов, полуфабрикатов.

Конструкция должна иметь минимальные габариты и массу, что важно при бортовой аппаратуре.

#### **Эксплуатационные требования.**

Составляют:

- простота управления и обслуживания;
- предусмотрение сигнализации в опасных режимах работы (выход из строя, открывание дверей шкафа, обрыв заземления);
- наличие в устройстве аппаратуры, обеспечивающей профилактический контроль и наладку конструктивных элементов (стенды, имитаторы сигналов и т.д.)

С эксплуатационными требованиями тесно связаны требования обеспечения нормальной работы оператора: организация его рабочего места, возможность подхода ко всем устройствам машины, безопасная работа при отладке и ремонте.

#### **Требования по надежности.**

Данные требования заключаются в обеспечении вероятности безотказной работы, наработки на отказ, среднего времени восстановления работоспособности, долговечности, сохраняемости.

Вероятности безотказной работы ЭВМ – есть вероятность того, что в заданном интервале времени при заданных режимах и условиях работы в машине не произойдет ни одного отказа.

Наработка на отказ ЭВМ – называют среднюю продолжительность ее работы между отказами.

Среднее время восстановления работоспособности ЭВМ – среднее время на обнаружение и устранение данного отказа.

Долговечность ЭВМ – продолжительность её работы до полного износа с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта. Под полным износом при этом понимают состояние машины, не позволяющее ее дальнейшую эксплуатацию.

Сохраняемость ЭВМ – её способность сохранять все технические характеристики после заданного срока хранения и транспортирования в определенных условиях.

#### **Экономические требования.**

К ним относятся минимально возможные затраты времени, труда и материальных средств на разработку, изготовление и эксплуатацию ЭВМ, минимальную стоимость машины после освоения её в производстве.

Стоимость ЭВМ определяется затратами труда и материальных средств, вкладываемых в машину при её изготовлении.

С точки зрения рассмотрения экономических требований можно привести некоторые характеристики, которыми должна обладать электронно-вычислительная аппаратура в соответствии с рекомендациями в государственных стандартах. Например: для ЭВМ общего назначения предусмотрено 6 классов производительности до  $20 \times 10^6$  и более коротких операций в секунду с минимальной емкостью ОЗУ – не менее 4 Мбайт. Для персональных ЭВМ предусмотрено 5 типов исполнения с разрядностью от 8 до 32, производительность – не менее  $4 \times 10^6$  коротких операций в секунду, емкость ОЗУ – не менее 8 Мбайт.

ЭВМ общего назначения должны обладать следующими показателями надежности: - средняя наработка на отказ (в зависимости от класса машин) должна составлять 500-2000 часов;

- среднее время восстановления работоспособности выбирается из следующего ряда: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 ч.;

- средний срок службы с учетом восстановительных работ должен иметь примерно 10 лет;

- коэффициент технического использования должен быть не менее 0,95 из расчета круглосуточной работы в течение одного года;

- средний срок сохраняемости до ввода в эксплуатацию установлен – не менее 0,98%;

Для персональных ЭВМ средняя наработка на отказ не менее 15000 ч., среднее время восстановления работоспособности не должно превышать 0,25 часа, а время готовности – 2 мкс.

В таблице 6 приведены весовые коэффициенты требований, устанавливаемых для универсальных, управляющих, портативных и бортовых и морских ЭВМ. Меньшему числовому значению коэффициента соответствует большая значимость соответствующего требования.

Таблица 6.

Требования	Весовые коэффициенты требований для ЭВМ			
	Универсальной	Управляющей	Портативной	Бортовой
Максимальное быстродействие	1	2	4	3
Высокая надежность	2	1	3	1
Низкая стоимость	3	2	1	4
Малое энергопотребление	3	4	2	1
Небольшие габариты, масса	3	2	2	1

Для большой ЭВМ (универсальной) наиболее важное требование – обеспечение максимального быстродействия, наименее важное – обеспечение минимальных габаритов.

Для управляющих ЭВМ (встраиваемых) наиболее важное требование – высокая надежность и малая стоимость (при производстве большими сериями), наименее важное требование – мощность потребления.

Портативные ЭВМ, рассчитываемые для массового потребления, должны иметь малую стоимость. Достижение высокого быстродействия здесь не обязательно.

Бортовые ЭВМ, устанавливаемые на военные и гражданские объекты, должны быть надежны. При этом стоимость в некотором смысле для них не имеет никакого значения. Применение ЭВМ в военной технике накладывает достаточно жесткие требования. Это связано с тем, что в условиях военных действий жизнь людей экипажей танков, самолетов, полностью зависит от безотказной работы оборудования. Использование ЭВМ в ракетах стратегического действия требует их постоянной готовности к работе во всех климатических зонах Земли и атмосферы. Поэтому основное требование к ЭВМ – надежность, а также – ремонтоспособность, малые габариты, масса и мощность потребления.

## 2.1. Показатели конструкции ЭВМ и систем

Конструкция ЭВМ любого назначения характеризуется показателями, отражающими ее потребительские качества.

К таким показателям относятся:

1. Сложность конструкции ЭВМ:

$$C_{ЭВМ} = k_1(k_2 N_{\text{Э}} + k_3 M_{\text{С}}), \quad (2.1)$$

где:  $k_1, k_2, k_3$  – масштабный и весовые коэффициенты;

$N_{\text{Э}}$  – число элементов, составляющих ЭВМ;

$M_{\text{С}}$  – число соединений;

Это выражение показывает связь между числом составляющих элементов ЭВМ (микросхем, полупроводниковых приборов, пассивных компонентов, элементов коммуникаций) и числом разъемных и неразъемных соединений между ними, что определяет массу, габаритные размеры, надежность и др. общие параметры.

2. Число элементов, составляющих ЭВМ:

$$N_{\text{Э}} = \sum_{j=1}^{k_n} \sum_{i=1}^{N_y} n_{ij}, \quad (2.2)$$

где:  $N_y, k_n, n_{ij}$  – число устройств ЭВМ, типов элементов, элементов  $i$ -го типа, входящих в  $j$ -е устройство.

3. Объем ЭВМ:

$$V = V_N + V_{\text{МС}} + V_H + V_{\text{УТ}}, \quad (2.3)$$

где:  $V_N$  – общий объем всех ИС,  $\text{дм}^3$ ;

$V_{\text{МС}}$  – объем соединений,  $\text{дм}^3$ ;

$V_H$  – объем несущей конструкции, обеспечивающей прочность и защиту,  $\text{дм}^3$ ;

$V_{\text{УТ}}$  – объем теплоотводящего устройства,  $\text{дм}^3$ ;

4. Коэффициент интеграции:

$$q_H = V_N / V \quad (2.4)$$

- характеризует степень использования физического объема ЭВМ элементами, несущими полезную функциональную нагрузку. Это коэффициент использования физического объема ( $q_H$  всегда  $\leq 1$  – в случае применения однокристалльной ЭВМ).

5. Общая масса ЭВМ – определяется суммой всех входящих в ЭВМ устройств:

$$m = m_N + m_{MC} + m_H + m_{UT}, \quad (2.5)$$

где:  $m_N$  – масса всех ИС, входящих в ЭВМ;

$m_{MC}$  – масса всех соединений;

$m_H$  – масса несущей конструкции;

$m_{UT}$  – масса теплоотводящих устройств;

6. Общая мощность потребления ЭВМ:

$$P = \sum_{i=1}^{N_y} P_i, \quad (2.6)$$

где:  $P_i$  – мощность потребления  $i$ -го устройства;

$N_y$  – число устройств, составляющих ЭВМ;

В цифровых ЭВМ мощность потребления зависит от средней мощности потребления ИС. 80-90% мощности потребления рассеивается в виде теплоты и определяет тепловой режим ЭВМ и соответствующие перегревы элементов конструкции.

7. Общая площадь, занимаемая ЭВМ:

$$S = \sum_{i=1}^{N_y} S_i, \quad (2.7)$$

где:  $S_i$  – площадь, требуемая для эксплуатации  $i$ -го устройства ЭВМ,  $m^2$ ;

$N_y$  – число устройств, составляющих ЭВМ;

8. Собственная частота колебаний конструкции:

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{jc}}{m}}, \quad (2.8)$$

где:  $k_{jc}$  – коэффициент жесткости конструкции;

$m$  – масса конструкции, кг;

9. Степень герметичности конструкции:

$$D = \frac{V_o \Delta P}{\tau_{cl}}, \quad (2.9)$$

где:  $V_o$  – объем блока,  $dm^3$ ;

$\Delta P$  – избыточное давление газа в блоке, Па;

$\tau_{сл}$  – срок службы блока, с;

Определяется истечением газа из определенного объема блока за известный отрезок времени.

10. Вероятность безотказной работы ЭВМ – параметр, определяющий надежность ЭВМ.

### **3. Элементная и конструктивно-технологическая базы ЭВМ и систем**

#### **3.1. Основные уровни конструкции ЭВМ**

Конструкция ЭВМ - это некоторое структурное образование, составные части которого находятся в иерархической соподчиненности. Исходным конструктивным элементом этой иерархии, является микросхема. Это мельчайшая неделимая структура, или основная ячейка, или кирпичик для построения всего “здания”, а именно ЭВМ.

Структура ЭВМ любого класса и назначения состоит из некоторого числа микросхем, осуществляющих некоторые логические функции. Функционально одна группа микросхем отличается от другой, но конструктивно они похожи, т.к. они выполнены в виде определенного по размерам и конфигурации корпуса с выводами. Применение микросхем с различными корпусами в пределах одного устройства ЭВМ нецелесообразно, т.к. потребуется их совместимость по электрическим, эксплуатационным и конструктивным параметрам.

Микросхема является исходным унифицированным конструктивным элементом, унификация которого требует унификации других элементов и единиц ЭВМ, т.к. только в этом случае она будет технологичной в производстве, надёжной в работе, и удобной в наладке, ремонте и эксплуатации.

В конструкции ЭВМ можно выделить пять уровней:

**Уровень 0** - конструктивно неделимый элемент – интегральная микросхема.

**Уровень 1** - на этом уровне неделимые элементы объединяются в схемные сочетания, имеющие более сложный функциональный признак, образуя ячейки, модули и типовые элементы замены (ТЭЗ). Эти элементы не имеют лицевой панели и содержат единицы, десятки и сотни микросхем.

**Уровень 2** - на этом уровне конструктивные единицы уровня 1 объединяются электрически и механически. Это панель, субблок,

блок. Часто конструктивные единицы уровня 2 содержат лицевую панель, не имеющую самостоятельного применения.

**Уровень 3** - может быть реализован в виде стойки, шкафа, внутренний объем которого заполняется конструктивными единицами уровня 2.

**Уровень 4** - это ЭВМ или система, включающая в свой состав несколько стоек (шкафов), соединенных кабелем.

Такой пятиуровневый метод компоновки требует решения ряда задач, связанных с выбором оптимального корпуса микросхемы и метода присоединения их выводов к внутренним соединениям уровня 1, выбора оптимального конструктива уровня 1 для числа входящих в неё микросхем; определение мер для теплоотвода и выбора соединений.

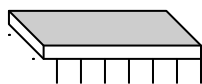
Такое разделение конструкции ЭВМ на уровни позволяет:

- организовать производство по независимым циклам для каждого структурного блока;
- автоматизировать процессы сборки и монтажа;
- сократить период настройки, т.к. может производиться настройка отдельных конструктивных единиц порознь;
- автоматизировать решение задач размещения элементов и трассировки межсоединений;
- унифицировать стендовую аппаратуру для испытания конструктивных единиц;
- повысить надежность конструктивных единиц.

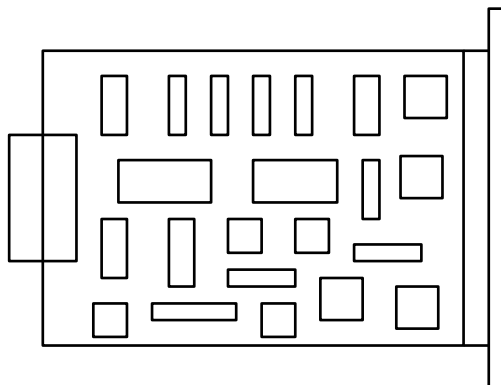
Число уровней конструктивной иерархии может быть изменено как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения в зависимости от класса ЭВМ и уровня технологии её изготовления. Например, реализация конструктивных единиц в виде БИС позволит исключить использование конструктивных единиц уровня 1.

Для всех типов машин: больших, средних, малых, настольных и бортовых ЭВМ, уровень 0 включает в себя интегральные микросхемы (корпусные и бескорпусные).

Пример уровня 0 – микросхема:



Уровень 1 – это ячейка (ТЭЗ – типовой элемент замены):



Уровень 2 – панель, блок, субблок;

Уровень 3 – стойка;

Уровень 4 – это ЭВМ – несколько шкафов, объединенных электрически с помощью кабелей.

**Уровень 1** – это ТЭЗ – конструктивно-законченная единица.

По технологии производства она независима. При разработке ЭВМ число разрабатываемых ТЭЗ стремится к минимуму. Это достигается разбиением функциональной схемы машины на отдельные повторяющиеся участки. Чисто внешне ТЭЗ – это печатная плата с разъемом (печатным или штыревым) и ручкой. ТЭЗ объединяет несколько десятков микросхем.

**Уровень 2** – панели инструментальные.

Обычно ячейки монтируют в панели. Панель – металлическая конструкция, имеющая в своем составе ответные части разъема для ячеек, ответный монтаж, разводку питания и шины заземления.

**Уровень 3** – несколько панелей монтируются в стойке, имеющей дверцы, закрывающие внутренний объем. Также в состав стойки могут входить блоки питания, устройства вентиляции, блокировки и т.д.

**Уровень 4** – это сама ЭВМ – каркас, куда входят несколько стоек.

Недостаток конструкций, применяемых в качестве ТЭЗ (ячейки с постоянными габаритными размерами) – наличие неиспользованного объема, т.к. не все типы ячеек оказываются насыщенными микросхемами и радиоэлементами.

Модуль, как и ТЭЗ – прямоугольная печатная плата, на которой с одной или с обеих сторон в 2-3 ряда располагаются микросхемы.

Закрепление модуля в субблоке осуществляют с помощью штырей, расположенных перпендикулярно плоскости платы. Как правило, контактные штыри располагаются вдоль его длинных сторон.



Итак, в соответствии с рассмотренными уровнями построения ЭВМ можно выявить следующую иерархию:

микросхема → ячейка → панель → стойка → ЭВМ (система)

Промежуточное положение между панелью и стойкой занимает субблок – это плоская конструкция, которая служит для объединения модулей и имеет в своём составе: раму, базовую плату, разъём и механизм фиксации в стойке (шкафу). И естественно, что стойка состоит из нескольких субблоков без всяких промежуточных конструктивных единиц.

Мы можем сказать, что чем меньше ЭВМ, тем проще ее конструкция. Для таких небольших ЭВМ их иерархия выглядит следующим образом:

микросхема → ячейка → блок → стойка (ЭВМ)

Для небольших настольных ЭВМ и бортовых ЭВМ необходимость в использовании конструктивных единиц уровня субблоков и стоек отпадает. В этих случаях ЭВМ монтируют непосредственно из ячеек.

### **3.2. Принципы конструирования радиоэлектронной аппаратуры**

Рассмотрим, как приведенные варианты конструктивной иерархии ЭВМ согласуются с общими принципами конструирования радиоэлектронной аппаратуры на печатных платах. В настоящее время получили распространение принципы конструирования, такие как: моносхемный, схемно-узловой, каскадно-узловой, функционально-узловой и модульный.

#### **Моносхемный принцип конструирования.**

Этот принцип заключается в том, что полная принципиальная схема радиоэлектронного оборудования располагается на одной печатной плате и поэтому выход одного элемента системы из строя приводит к сбою всей системы. Оперативная замена этого элемента затруднена из-за сложности его обнаружения.

ЭВМ, построенная по моносхемному принципу должна монтироваться из нескольких БИС, в которых предусмотрены меры увеличения надежности путем введения аппаратной и информационной избыточности. Нахождение неисправностей при этом обычно производится на программном уровне.

#### **Схемно-узловой принцип конструирования.**

Этот принцип подразумевает расположение частей полной электрической схемы изделия на нескольких печатных платах. При этом,

схемы расположенные на отдельных платах должны иметь четко выраженные входные и выходные характеристики.

По такому принципу сконструированы настольные и бортовые ЭВМ. Объединение плат у таких ЭВМ производится с помощью коммутационной платы и также с помощью проводных жгутов.

#### **Каскадно-узловой принцип конструирования.**

Этот принцип заключается в том, что принципиальную схему изделия делят на отдельные каскады, которые не могут выполнять самостоятельные функции. В этих изделиях вариант конструктивной иерархии занимает промежуточное положение между схемно-узловым и функционально-узловым принципами.

ЭВМ с большой и сложной структурой строится по каскадно-узловому принципу, а ЭВМ с более простой структурой – по схемно-узловому принципу.

#### **Функционально-узловой принцип конструирования.**

Этот принцип применяется при разработке больших ЭВМ. Базовым элементом конструкции является ТЭЗ. Имея необходимый набор ТЭЗ, можно строить целый ряд вычислительных машин с различными техническими характеристиками.

#### **Модульный принцип конструирования.**

Естественно, что в ЭВМ все функциональные узлы взаимосвязаны. Так вот модульный принцип конструирования предполагает, что эта взаимосвязь осуществляется по одному каналу. Обычно, для обеспечения связи с приемником, модуль передатчик посылает необходимый сигнал вместе с адресом по одной или более шине. Сигналы поступают на входы всех подключенных к каналу модулей, но отвечает только запрашиваемый.

Применяя этот принцип, можно построить машину с практически неограниченной производительностью и сложностью, сохраняя при этом гибкость в ее организации, т.к. разработчик использует ровно столько модулей, сколько ему требуется. Разработчик может также модернизировать конструкцию, меняя или добавляя отдельные модули и получая при этом необходимые параметры.

### **3.3. Классификация интегральных микросхем**

#### ***3.3.1. Классификация и система обозначений интегральных микросхем***

Для любого типа конструктивной иерархии ЭВМ на низшем уровне находятся интегральные микросхемы (ИС), выполняющие логические, вспомогательные и специальные функции, а также функцию

запоминания. В настоящее время промышленностью выпускается большое количество микросхем, которые можно классифицировать по ряду признаков:

**По функциональному назначению** ИС делятся на:

- логические (цифровые);
- линейно-импульсные;
- линейные (аналоговые);

Логические ИС используют в ЭВМ, ЦВМ, устройствах дискретной автоматики и других цифровых устройствах. К логическим ИС относятся микропроцессорные схемы, схемы памяти и другие ИС, выполняющие логические функции.

Линейно-импульсные и линейные ИС применяют в аналоговых вычислительных машинах и в устройствах преобразования информации. К ним относятся различные преобразователи, компараторы и другие схемы.

**По технологии изготовления** ИС делятся на:

- полупроводниковые ИС;
- гибридные ИС;

Рассмотрим полупроводниковые ИС. Они могут располагаться на поверхности полупроводникового материала, так называемой подложке, или прямо формируются из некоторого объема полупроводника. Появление активных и пассивных элементов зависит от введения определенным образом концентраций примесей в различные части монокристаллической пластины.

В зависимости от применяемых активных элементов, полупроводниковые ИС подразделяют на схемы с биполярными и униполярными структурами. Одни и другие имеют изоляторы. В роли изоляторов выступают диффузионные p-n переходы и изолятор-диэлектрик.

При рассмотрении гибридных ИС можно выделить следующее: в этих ИС пассивную часть схемы выполняют в виде пленки, которую наносят на поверхность диэлектрического материала (подложки), а активные материалы или элементы, имеющие самостоятельное конструктивное решение, крепятся к поверхности подложки. В гибридных ИС используют как тонкие, так и толстые резистивные, проводящие и диэлектрические пленки.

Пленки имеют разную толщину и в зависимости от этого имеют следующую классификацию: - пленки толщиной до 1 мкм считаются тонкими; - пленки толщиной свыше 1 мкм считаются толстыми. И в зависимости от этого технологии изготовления ИС с толстыми пленками – толстопленочная, а с тонкими пленками – тонкопленочная.

Гибридные ИС делят на микросхемы с гибкими и жесткими выводами. Это деление происходит на основе метода подсоединения

бескорпусных активных элементов. Выводы в этих ИС могут быть шариковыми, столбиковыми, балочными, лепестковыми.

Еще один вид ИС – это совмещенные ИС (они являются разновидностью полупроводниковых ИС). К ним относятся ИС, в которых активные элементы выполняются внутри полупроводниковой подложки, а пассивная часть схемы наносится на поверхность в виде тонких металлических и неметаллических пленок. И т.к. такие ИС изготавливают на одном кристалле, то их называют и относят к полупроводниковым ИС.

Степень интеграции  $K_{\text{ц}}$  микросхемы определяется числом содержащихся в ней элементарных схем, где  $(\lg N)$  – целая часть  $\lg N$ , а  $N$  – количество элементарных схем.

Таким образом, микросхема, содержащая 10 элементарных схем, имеет 1 степень интеграции (малая ИС), до 100 элементарных схем - 2 степень интеграции (средняя ИС), до 1000 элементарных схем - 3 степень интеграции (БИС), свыше 1000 элементарных схем - сверхбольшая ИС (СБИС).

**По конструктивному исполнению.** Деление дает следующие типы ИС:

- корпусные с выводами;
- корпусные без выводов;
- бескорпусные;

Из всего рассмотренного материала, можно подвести итог, что ИС классифицируются по:

- функциональному назначению;
- технологии изготовления;
- конструктивному исполнению.

И если можно выделить ряд отдельных функциональных микросхем, объединенных по виду технологии изготовления, напряжениям источников питания, входным и выходным сопротивлениям и уровням сигналов, конструктивному оформлению и способам крепления или монтажа, то говорят, что такие микросхемы образуют серию ИС.

Обычно в серию ИС входит такой набор функциональных микросхем, из которых можно построить законченное радиоэлектронное устройство. Существуют также серии специальных микросхем, предназначенных для работы в специфических условиях или специального назначения, например – для управления запоминающим устройством, внешними устройствами, и т.д.

Каждая микросхема, входящая в ту или иную серию имеет условное обозначение, которое отображает ее принадлежность к какому-либо классу, группе (в пределах этого класса) и порядковому номеру серии.

Приведем пример классификации ИС по **функциональному назначению**:

1). Логические элементы:

“И” – ЛИ

“ИЛИ” – ЛЛ

“НЕ” – ЛН

“И - ИЛИ” – ЛС

“И - НЕ” – ЛА

“ИЛИ - НЕ” – ЛЕ

“И - НЕ/ИЛИ - НЕ” – ЛБ

“И - ИЛИ - НЕ” – ЛР

расширители – ЛД

прочие – ЛП

2). Многофункциональные схемы:

аналоговые – ХА

цифровые – ХЛ

комбинированные – ХК

прочие – ХП

3). Коммутаторы и ключи:

тока – КТ

напряжения – КН

прочие – КП

4). Генераторы:

гармонических сигналов – ГС

прямоугольных сигналов – ГГ

линейно измеряющих сигналов – ГЛ

сигналов специальной формы – ГФ

шума – ГМ

прочие ГП

5). Преобразователи сигналов:

частоты – РС

длительности – ПД

напряжения (тока) – ПН

мощности – ПМ

уровня (согласования) – ПУ

аналогово-цифровые – ПА

синтезаторы частоты – ПЛ

делители частоты аналоговые – ПК

умножители частоты аналоговые – ПЕ

6). Схему ЗУ:

матрицы оперативных ЗУ – РМ

матрицы постоянных ЗУ – РВМ

оперативные ЗУ – РУ

постоянные ЗУ с возможностью однократного программирования – РТ

постоянные ЗУ с ультрафиолетовым стиранием – РФ

постоянные ЗУ с возможностью многократного электрического перепрограммирования – РР

ассоциативные ЗУ – РА

7). Схемы вычислительных средств:

микро ЭВМ – ВЕ

микропроцессоры – ВМ

микропроцессорные секции – ВС

схемы микропрограммного управления – ВУ

функциональные расширители – ВР

схемы синхронизации – ВБ

схемы управления прерываниями – ВН

схемы управления вводом – выводом (схемы интерфейса) – ВВ

и т.д.

### **3.4. Стандартизация модульного конструирования**

Модули нулевого уровня представляют собой интегральные микросхемы (ИС). Как правило, ИС имеют корпуса с различными типами выводов (DIP и PLANAR), могут быть бескорпусными.

Корпуса обычно служат для защиты помещенных в них полупроводниковых кристаллов, подложек, электрических соединений от внешних воздействий. Также корпуса служат для удобства при монтаже, когда они практически используются в единицах первого уровня. Кристаллы или подложки микросхем обычно приклеиваются или припаиваются к основанию корпуса. Выходные же контакты микросхем подсоединяются к выводам корпуса пайкой или сваркой.

Корпуса микросхем бывают: металлокерамические, металлопластмассовые, металlostеклянные, стеклянные, керамические и пластмассовые. В металлизированных корпусах крышки выполняются металлическими, а основания – стеклянными. Крышки осуществляют эффективную влагозащиту при хорошем отводе тепла от кристалла, снижают уровень помех.

В пластмассовых и керамических корпусах крышку и основание выполняют из однородного материала. Основание корпуса соединяют с крышкой пайкой, сваркой или склеиванием.

Некоторые корпуса получают путем заливки формы корпуса пластмассой. На корпус МС обычно наносится маркировка (тип МС, в соответствии с ее условным обозначением) и выполняется нумерация выводов относительно ключа – метки.

Для правильной установки МС на плату, практически все корпуса имеют основной ориентир – это ключ, который обычно располагается в зоне первого выхода. Все выходы в корпусах нумеруются слева на право или по часовой стрелке. Ключ делается в виде отметины на корпусе, обычно метка металлизирована и принимает форму выемки или паза в корпусе. В поперечном сечении выводы корпусов имеют круглую, квадратную или прямоугольную форму. Шаг между выводами составляет: 0,625; 1,0; 1,25; 1,7 и 2,5 мм.

По форме проекции тела корпуса на установочную плоскость и расположению выводов, корпуса делят на типы и подтипы, табл. 7.

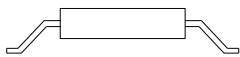
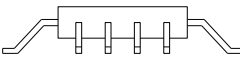
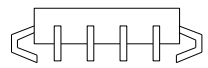
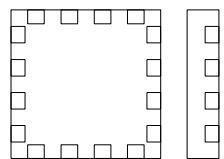
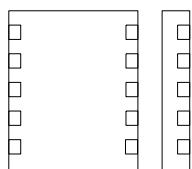
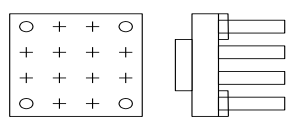
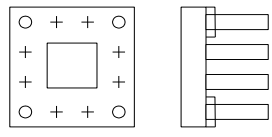
Таблица №7

Типы и подтипы корпусов микросхем

Тип	Подтип	Расположение выводов относительно установочной плоскости	Внешний вид корпуса	Форма проекции тела корпуса на установочную плоскость
1	2	3	4	5
1	11	Перпендикулярное в один ряд		Прямоугольная
	12	Перпендикулярное в два ряда		
	13	Перпендикулярное в три ряда		
	14	Перпендикулярное по контуру прямоугольника		

	15	Перпендикулярное в один ряд или отформованные в два ряда		
2	21	Перпендикулярное в два ряда		Прямоугольная
	22	Перпендикулярное в четыре ряда в шахматном порядке		
3	31	Перпендикулярное по окружности		Круглая
	32	Перпендикулярное по окружности		Овальная
4	41	Параллельное по двум противоположным сторонам		Прямоугольная
	42	Параллельное по четырем сторонам		



	43	Параллельное отформованное по двум сторонам		
	44	Параллельное отформованное по четырем сторонам		
	45	Параллельное отформованное под корпус по четырем сторонам		
5	51	Перпендикулярное для боковых площадок выводов по четырем сторонам		Квадратная
	52	Перпендикулярное для боковых площадок выводов по двум сторонам		Прямоугольная
6	61	Перпендикулярное в несколько рядов		Квадратная
	62	Перпендикулярное в несколько рядов со стороны крышки корпуса		

Типы корпусов микросхем подразделяются на типоразмеры, каждому из которых присваивается свой шифр, который обозначает тип корпуса и двузначное число порядкового номера типа размера. Например, корпус с 48 выводами и условным обозначением 4113.48 – 1 соответствует корпусу четвертого типа, 41 – подтипу с порядковым номером 13. Т.е. последняя цифра условного обозначения – порядковый регистрационный номер. Для МС в экспортном исполнении вместо регистрационного номера вводится латинская буква Е.

Каждый тип корпуса имеет достоинства и недостатки. Корпус с планарными выводами для установки и монтажа требует на печатной плате в 2 раза больше площади, чем тех же размеров корпус, но с ортогональным расположением выводов. Преимущество планаров в том, что их можно установить на плату с обеих сторон. Жесткие штыревые выводы хорошо использовать в условиях вибрации и при больших ударных нагрузках.

Пластмассовые корпуса дешевы, обеспечивают защиту от механических воздействий, но хуже других защищают от климатических воздействий.

### ***3.4.1. Микросборки***

Фактически – микросборки представляют собой бескорпусные гибридные МС индивидуального применения. Интегральные микросхемы в этом случае практически не согласуются по входу и выходу. Пассивная часть схемы микросборки обеспечивает необходимую согласованность. По технологии изготовления и производства микросборки не отличаются от гибридных микросхем, а по функциональной сложности, они приближаются к БИС, используемых в различной аппаратуре.

Микросборки обычно разрабатывают под конкретную аппаратуру для получения высоких показателей ее микроминиатюризации, уменьшения потерь полезного объема аппаратуры.

Высокая насыщенность монтажа достигается за счет использования новых материалов и увеличения слоев коммутации.

Материалом подложек микросборок могут быть некоторые виды стекол и керамики. Но их низкая теплопроводность, препятствует рассеиванию больших мощностей, наблюдается хрупкость, трудность получения подложек сложных форм. Керамику отличает большая механическая прочность, лучшая теплопроводность, хорошая химическая стойкость.

В качестве материалов подложек используются ситалл (материал на основе стекла), поликор (керамика на основе окиси алюминия), гибкие полиимидные пленки.

### 3.4.2. Модули первого уровня

Модули первого уровня – это ячейки, модули, ТЭЗ.

Как и ко всей конструкции, при конструировании модулей первого уровня существуют некоторые правила:

1). Минимизация схемной конструкции, т.е. выявляются одинаковые по назначению участки схем или схемной конструкции, и выполняется унификация их структуры.

2). Производится также минимизация при выборе серий микросхем, корпусов микросхем и т.д.

3). При рассмотрении единого конструктива модулей выбирается, как правило, единый конструктив соединителя или разъема с учетом 5 -10 % запаса контактов на возможную модификацию в модуле.

4). Определение габаритов модуля производится следующим образом: за ширину платы обычно в минимашинах принимают длину разъема, здесь же учитываются поля установки платы и поля для закрепления модуля в конструктиве второго уровня.

5). Конструирование печатной платы, т.е. грамотное размещение всех компонентов на плате.

6). Выбор способов защиты модуля от перегрева и внешних воздействий.

Существует понятие – плоская компоновка схемы на плате. Это значит, что все компоненты электрической схемы расположены в плоскости платы с одной или с двух сторон. Это значит, что высота всего модуля будет достаточно мала по сравнению с длиной и шириной модуля. В понятие высоты входит: толщина платы + высота компонентов, расположенных на плате.

Модульная конструкция обеспечивает: простоту выполнения монтажных работ, легкость доступа к каждому компоненту, улучшенный тепловой режим.

Если при установке платы в каркас второго уровня используется соединитель, то такую конструкцию называют ТЭЗ.

Лицевая панель обычно многофункциональна, на ней располагаются элементы управления и индикации, контрольные гнезда, различные электрические соединители.

Обычно почти все ТЭЗ жестко фиксируют в конструктиве второго уровня, и им присваивается свой адрес. Несоответствие адреса установочного места в блоке с адресом лицевой панели ТЭЗ может вызвать ошибку.

Если электрическая схема, расположенная на плате, требует большого количества информационных соединений, то на эту плату можно установить 3 соединителя и больше.

В блоках транспортируемого характера, печатные платы, как правило, жестко закреплены на несущей конструкции. Внутри платы компоновка производится через пайку или подпайку, если используется проводной монтаж.

Обычно соединители обеспечивают быструю и легкую замену модулей и бывают прямого и косвенного сочленения. Вилка сочленения прямого типа является частью печатной платы, где показаны печатные ламели, т.е. выполнен рисунок контактов каким-либо способом.

Розетки прямого сочленения бывают открытого и закрытого исполнения. В розетках открытого типа, прорезь для установки печатной платы открыта с концов, что позволяет устанавливать в нее различные по ширине платы.

Розетки закрытого типа с концов ограничены торцевыми поверхностями и служат для установки плат фиксированной ширины. Расстояние между печатными панелями выбирается из ряда: 1,25;2,5;3,75;5 мм.

Малое омическое сопротивление и высокая износостойкость контактной пары: ламель – пружинящий контакт розетки, достигается за счет покрытия медных площадок панели серебром, палладием, золотом.

При конструировании печатных плат обычно решаются следующие задачи: - выбор проводниковых и изоляционных материалов, выбор формы и размеров печатной платы, выбор способов установки компонентов на плате;

- определение ширины, длины и толщины печатных проводников, определение расстояния между ними, определение диаметров и монтажных и переходных отверстий, размеров контактных площадок;
- трассировка печатного монтажа;
- оформление конструкторской документации.

### **3.5. Общие сведения о печатных платах**

**Печатные платы (ПП)** – основа печатного монтажа любой электронной аппаратуры, при котором микросхемы, полупроводниковые приборы, элементы коммутации устанавливаются на изоляционное основание с системой токопроводящих полосок металла (проводников), которыми они электрически соединяются между собой в соответствии с электрической принципиальной схемой. Практически нет такой аппаратуры, где бы не использовались ПП какого-либо типа.

**Печатный монтаж** – способ монтажа, при котором электрическое соединение элементов электронного узла, включая экраны, выполнено с помощью печатных проводников. **Печатный проводник** – проводящая полоска металла в проводящем рисунке на ПП.

В электронной аппаратуре ПП применяют практически на всех уровнях конструктивной иерархии: на нулевом – в качестве основания гибридных схем и микросборок, на первом и последующих – в качестве основания, механически и электрически объединяющего все элементы, входящие в схему электрическую принципиальную электронной аппаратуры и её узлов.

Государственным стандартом предусмотрены следующие типы печатных плат:

односторонняя печатная плата (ОПП) – ПП, на одной стороне которой выполнен проводящий рисунок;

двусторонняя печатная плата (ДПП) – ПП, на обеих сторонах которой выполнены проводящие рисунки и все требуемые соединения;

многослойная печатная плата (МПП) – ПП, состоящая из чередующихся слоёв изоляционного материала с проводящими рисунками на двух или более слоях, между которыми выполнены требуемые соединения;

гибкая печатная плата (ГПП) – ПП, имеющая гибкое основание:

гибкий печатный кабель (ГПК) – система параллельных печатных проводников, размещённых на гибком основании.

Проводящий рисунок – совокупность всех элементов на отдельном слое ПП, образованных проводящим материалом (печатные проводники, контактные площадки, концевые контакты печатного разъёма и др.).

### ***3.5.1. Конструктивные характеристики печатных плат***

По точности выполнения печатных элементов конструкции (проводников, контактных площадок и пр.) все ПП делят на пять классов, отличающиеся наименьшим номинальным размером в узком месте – участок ПП, где элементы печатного проводящего рисунка и расстояния между ними должны быть выполнены только с минимально допустимыми значениями:

первый и второй классы ПП применяют в случае малой насыщенности поверхности ПП дискретными элементами и микросхемами малой степени интеграции;

третий класс ПП – для микросхем со штыревыми и планарными выводами при средней и высокой насыщенности поверхности ПП элементами;

четвёртый класс ПП – при высокой степени насыщенности ПП микросхемами с выводами и без них;

пятый класс ПП – при очень высокой насыщенности поверхности ПП элементами с выводами и без них.

Для поверхностного монтажа элементов используют в основном четвёртый и пятый классы ПП.

Ширину печатных проводников рассчитывают и выбирают в зависимости от допустимой токовой нагрузки, свойств токопроводящего материала, температуры окружающей среды при эксплуатации. Края проводников должны быть ровными, проводники – без вздутий, отслоений, разрывов, протравов, пор, крупнозернистости и трещин, так как эти дефекты влияют на сопротивление проводников, плотность тока, волновое сопротивление и скорость распространения сигналов.

Расстояние между элементами проводящего рисунка (между проводниками), расположенными на наружных или в соседних слоях ПП, зависит от допустимого рабочего напряжения, свойств диэлектрика, условий эксплуатации и связано с помехоустойчивостью, искажением сигналов и короткими замыканиями.

Координатная сетка чертежа ПП необходима для координации элементов печатного рисунка. В узлах пересечений сетки располагаются монтажные и переходные отверстия. Основным шагом координатной сетки принят размер 0,5 мм в обоих направлениях. Если этот шаг не удовлетворяет требованиям конкретной конструкции, можно применять шаг 0,005 мм. При использовании микросхем и элементов с шагом выводов 0,625 мм допускается применение шага координатной сетки 0,625 мм. В случае необходимости применения координатной сетки с шагом, отличным от основных, предпочтительным является шаг, кратный основным шагам координатной сетки. При использовании микросхем зарубежного производства с расстоянием между выводами по дюймовой системе, допускается использование шага координатной сетки, кратного 2,54 мм.

Диаметры монтажных и переходных отверстий (металлизированных и неметаллизированных) должны соответствовать ГОСТу 10317 79 и выбираться из ряда: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0. Монтажные отверстия предназначены для установки микросхем и ЭРЭ, а переходные отверстия – для электрической связи между слоями или сторонами ПП.

Размеры ПП, если они специально не оговорены в ТЗ, определяются с учётом количества устанавливаемых элементов, их установочных площадей, шага установки, зон установки разъёма и пр. Линейные размеры ПП рекомендуется выбирать по ГОСТу, табл. № 8. Соотношение линейных размеров сторон ПП должно составлять не более 3:1.

Таблица №8

Линейные размеры ПП

Ширина, мм	Длина, мм	Ширина, мм	Длина, мм
20	30	100	120
	40		130
30	40	110	150
			170
40	60	120	120
45	75		140
	80		150
50	60		160
	80		170
	100		180
	150		200
60	60	130	200
	80	140	150
	90		200
	100	150	150
	140		170
	160		180
75	75	150	200
	90	160	170
	170		200
80	130	170	180
	140		200
90	90	170	280
	120		
	150	200	360
	170		

Кривизна ПП (цилиндрическое или сферическое искривление основания) может появиться в результате воздействия высокой температуры и влажности. Допустимое значение изгиба ПП на длине 100 мм составляет для ОПП и ДПП – 1,5 мм; для МПП – 2,00 мм.

Коробление ПП (спиральное искривление противоположных кромок основания ПП, скручивание) может привести к разрыву проводников, осложняет процесс изготовления ПП и установки элементов при сборке модуля.

### **3.5.2. Электрические характеристики печатных плат**

Допустимая плотность тока для ОПП, ДПП и наружных слоёв МПП – 20 А/мм<sup>2</sup>; для внутренних слоёв МПП – 15 А/мм<sup>2</sup>. Допустимое рабочее напряжение между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях ПП и ГПК, зависит от материала основания печатной платы и не должно превышать следующих значений, табл. № 9.

Таблица №9

Допустимые рабочие напряжения между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях.

Расстояние между элементами рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В	
	Фольгированный гетинакс (ГФ)	Фольгированный стеклотекстолит (СФ)
От 0,1 до 0,2 включительно	-	25
Свыше 0,2 до 0,3 включительно	-	50
Свыше 0,3 до 0,4 включительно	75	100
Свыше 0,4 до 0,5 включительно	150	200
Свыше 0,5 до 0,75 включительно	250	350
Свыше 0,75 до 1,5 включительно	350	500
Свыше 1,5 до 2,5 включительно	500	650

Допустимые рабочие напряжения между элементами проводящего рисунка, расположенными на наружном слое ПП, зависят от материала основания ПП и условий эксплуатации.

Контактные площадки ПП с металлизированными отверстиями должны выдерживать не менее 4(МПП – 3) циклов перепаек; без металлизированных отверстий – не менее 3(МПП – 2) перепаек.

### **3.5.3. Материалы печатных плат**

В качестве основания печатных плат используют фольгированные и нефольгированные диэлектрики (гетинакс, текстолит, стекло-



текстолит, стеклоткань, лавсан, полиимид, фторопласт и др.), керамические материалы и металлические пластины. При выборе материала основания ПП необходимо обратить внимание на следующее: предполагаемые механические воздействия (вибрации, удары, линейное ускорение и т. п.); класс точности ПП (расстояние между проводниками); реализуемые электрические функции; быстродействие; условия эксплуатации; стоимость.

По сравнению с гетинаксами стеклотекстолиты имеют лучшие механические и электрические характеристики, более высокую нагревостойкость, меньшее влагопоглощение. Однако у них есть ряд недостатков: невысокая нагревостойкость по сравнению с полиимидами, что способствует загрязнению смолой торцов внутренних слоёв при сверлении отверстий; худшая механическая обрабатываемость; более высокая стоимость; существенное различие (примерно в 10 раз) коэффициента теплового расширения меди и стеклотекстолита в направлении толщины материала, что может привести к разрыву металлизации в отверстиях при пайке или в процессе эксплуатации.

Для изготовления ПП, обеспечивающих надёжную передачу наносекундных импульсов, необходимо применять материалы с улучшенными диэлектрическими свойствами (уменьшенным значением диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь). Поэтому к перспективным относится применение оснований ПП из органических материалов с относительной диэлектрической проницаемостью ниже 3,5.

Для изготовления ПП, эксплуатируемых в условиях повышенной опасности возгорания, применяют огнестойкие гетинаксы и стеклотекстолиты марок СОНФ, СТНФ, СФВН, СТФ, СОНФ-у.

Для изготовления ГПК, выдерживающих многократные (до 150) изгибы на 90° (в обе стороны от исходного положения) с радиусом 3 мм, применяют фольгированный лавсан и фторопласт. Материалы с толщиной фольги 5 мкм позволяют изготовить ПП 4-го и 5-го классов точности.

В производстве ПП широко используют отечественные и импортные материалы. Прежде чем останавливать свой выбор на том или ином материале, следует иметь в виду, что:

- при использовании недорогих отечественных стеклотекстолитов при ширине проводников и зазоров между ними менее 0,3 мм большой процент ПП уйдёт в брак, что, естественно, увеличит стоимость ПП и приблизит к стоимости ПП на импортных материалах;
- при изготовлении ДПП отечественные материалы целесообразно применять, если нет повышенных требований по климатическим воздействиям и частотным характеристикам;

- если стоимость модуля 1-го уровня (ячейки) превышает стоимость ПП примерно в 10 раз, желательно использовать импортные материалы;

- подготовка производства ПП на импортных материалах в 2-2,4 раза дороже чем на отечественных, а изготовление 1 дм<sup>2</sup> – в 1,8-2,2 раза и зависит от объёма заказа в дм<sup>2</sup> или типа производства и наличия отсутствия защитной паяльной маски;

- применение защитных паяльных масок увеличивает стоимость ПП на отечественных материалах примерно на 30...35%, а на импортных – на 5%.

Из зарубежных материалов можно отметить следующие:

стеклотекстолит фольгированный марки Duraver-E-Cu (FR-4, FR-2, СЕМ-1 и др.) фирм «Isola AG» (Германия), «МС Electronic» (Австрия) односторонний и двусторонний; размер листа 1070×1225 мм; толщина листа от 0,05 до 1,5 мм; толщина фольги – 18, 35, 50, 70 и 105 мкм; огнестойкий;

стеклотефлоновые материалы Duroid «Rogers», TL «Taconics», Ultralam «Arion» и др.

материалы электроизоляционные фольгированные и нефольгированные завода «Молдавизолит» (Молдавия):

МИ 1222 (односторонний) и МИ 2222 (двусторонний); размер листа 1020×1220 мм; толщина листа от 0,8 до 3,2 мм; толщина фольги – 18, 35, 50, 70 и 105 мкм; тип (FR-4); огнестойкий.

#### ***3.5.4. Изготовление оригиналов и фотошаблонов***

Оригиналы и фотошаблоны являются важнейшим инструментом при изготовлении печатного рисунка всех типов плат. Оригиналом рисунка ПП называют изображение рисунка ПП, выполненное с необходимой точностью в заданном масштабе. Фотошаблоном (ФС) рисунка ПП называют пластину (из стекла или полимера) с прозрачными и непрозрачными для оптического излучения участками. Фотошаблон – основной инструмент для получения рисунка на поверхности печатной платы или отдельного её слоя.

Комплектом фотошаблонов называют то количество фотошаблонов, совмещающихся между собой, которое необходимо и достаточно для изготовления ПП определённого типа и наименования.

Оригинал рисунка ПП служит исходным документом для получения эталонных и рабочих фотошаблонов, необходимых для создания рисунка токопроводящих участков на ПП. Основной проблемой при производстве фотошаблонов (эталонных и рабочих) является обеспечение точности и метрической стабильности основных размеров рисунка под воздействием внешних факторов.

Основные критерии оценки качества рабочего фотошаблона – отсутствие фотографической вуали; достаточная плотность чёрного фона; высокая резкость края изображения.

При изготовлении фотошаблонов одной из ответственных операций является операция размещения контрольных знаков. Контрольный знак – специальный топологический элемент в виде штриха, щели, креста и пр., служащий для контроля точности изготовления оригиналов и фотошаблонов и применяемый для совмещения фотошаблонов слоёв двусторонних и многослойных ПП, а также при выполнении операции мультипликации.

При изготовлении рабочих фотошаблонов необходимо, чтобы размеры элементов топологии фотошаблона и расстояния между ними соответствовали требованиям КД на ПП с учётом технологических допусков на изготовление ПП.

Оригиналы ПП ранее изготавливали вручную методом аппликации печатных элементов на основание оригинала; на фотокоординатографах; методом вырезания по контуру плёнки, нанесённое на стеклянное основание, методом вырезания и гравирования линий на плёнке, покрытой эмалью, и методом вычерчивания на бумаге пишущим инструментом с тушью или чернилами. Масштаб оригинала может быть 1:1, 5:1, 10:1. После изготовления и контроля оригинал помещали в установку экспонирования, где с него контактным или проекционным методом получали скрытое изображение топологии ПП.

В качестве фотоматериалов применяют фотографические пластинки, фототехнические плёнки, диазоматериалы, чувствительные к ультрафиолетовому излучению; бессеребряные светочувствительные материалы. Время экспонирования выбирают опытным путём в зависимости от светочувствительности фотоматериала, освещённости источника светового излучения, спектральной чувствительности диазоматериалов, спектра источника излучения.

Для получения группового фотошаблона, на котором выполняют рисунок топологии двух и более ПП, применяют операцию мультиплицирования – повторение экспонирования рисунка оригинала на всей поверхности фотоматериала.

После экспонирования и мультиплицирования осуществляется химико-фотографическая обработка фотоматериала, контроль полученного фотошаблона, ретуширование – удаление дефектов.

Широко распространён метод получения фотошаблонов на лазерных растровых генераторах изображений (фотоплоттерах) сканированием лазерного пятна на поверхности плёнок или стеклянных пластин и испарением маскирующего покрытия или засветки фотоматериала в соответствии с рисунком ПП. Программу перемещения лазерного пятна получают при проектировании (трасси-

ровки) ПП по программе. В фотоплоттере имеется библиотека часто повторяющихся в топологических чертежах элементов и узлов, использование которых значительно облегчает изготовление фотошаблонов. Лазерная система фотоплоттера, содержащая лазер, акустооптический генератор, многогранную призму и фокусирующий объектив, формирует лазерное пятно постоянного размера, которое сканирует по рабочему полю заготовки.

Формирование растрового изображения рисунка (оригинала) в фотоплоттере вне зависимости от сложности рисунка происходит с высокой скоростью в течение нескольких минут. Тиражирование фотошаблона проводится без использования методов контактной печати с высокой точностью. Работа фотоплоттеров поддерживается входными и выходными форматами: Gerber; PLT (САПР PCAD); BRD (САПР МПП); AUTOCAD.

Изготовленные фотошаблоны используют для получения рисунков топологии ПП контактной печатью. Количество полученных отпечатков для различных типов фотошаблонов различно: для эмульсионных фотошаблонов – 50 операций контактной печати; для диазотипных фотошаблонов – 100 операций контактной печати; для эмульсионных стеклянных фотошаблонов с фиксирующими отверстиями с защитной плёнкой при однократном нанесении – 300 операций контактной печати.

## **4. Обеспечение надежной работы конструкции электронной аппаратуры**

### **4.1. Защита конструкции ВТ от механических воздействий**

На средства ВТ в процессе работы, в процессе эксплуатации на разных видах транспорта воздействуют внешние механические факторы (вибрации, удары, ускорения, акустические шумы), передающие ей механическую энергию. Это количество переданной энергии, может изменить конструкцию. Допустимые пределы механического изменения конструкции определяются её прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям.

Под прочностью конструкции понимается способность аппаратуры выполнять функции и сохранять определенные параметры после приложения механических воздействий.

Под устойчивостью конструкции понимается способность аппаратуры сохранять функции и параметры в процессе механических воздействий.

Откликом или реакцией конструкции на механические воздействия называют любые формы трансформации или преобразования энергии механического возбуждения.

Существуют следующие разновидности откликов:

- механические напряжения в элементах конструкции;
- перемещения элементов конструкции и их соударения;
- деформации и разрушения конструктивных элементов;
- изменения свойств и параметров конструкции.

Механические воздействия могут привести к непредусмотренным перемещениям деталей и узлов из-за возникающих инерционных сил. Как следствие этого, может возникнуть деформация крепежных несущих и других элементов конструкции и их соударения.

При незначительных механических воздействиях в элементах конструкции возникают упругие деформации, которые, как правило, не влияют на работоспособность конструкции и аппаратуры в целом.

Увеличение нагрузки приводит к появлению остаточной деформации и, при определённых условиях, к разрушению конструкции.

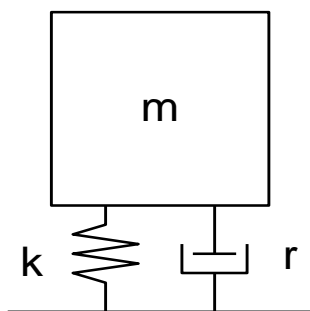
Отказы аппаратуры бывают восстанавливаемые после снятия или ослабления механических воздействий (вибрация, удары, возникновение шумов) и невосстанавливаемые (обрывы, замыкания электрических соединений, отслаивание проводников от печатных плат, нарушение элементов крепления несущих конструкций).

Рассмотрим конструкцию при воздействии на неё некоторых механических нагрузок.

Основными параметрами любой конструкции, с позиций реакции на механические воздействия, являются: масса, жесткость, механическое сопротивление (демпфирование).

При анализе явления вибрации или влияния вибрации на конструкцию модуля, последний можно представить в виде системы с сосредоточенными параметрами, в которой заданы масса изделия –  $m$ , элемент жесткости в виде пружины и элемент механического сопротивления в виде демпфера, характеризующиеся параметрами –  $k$  и  $r$ , рис.5.

Рис.5. Модель механической системы с одной степенью свободы.



Если построить более сложную модель, например, в виде панели с установленными на ней модулями, то можно получить модель с распределёнными параметрами, рис.6.

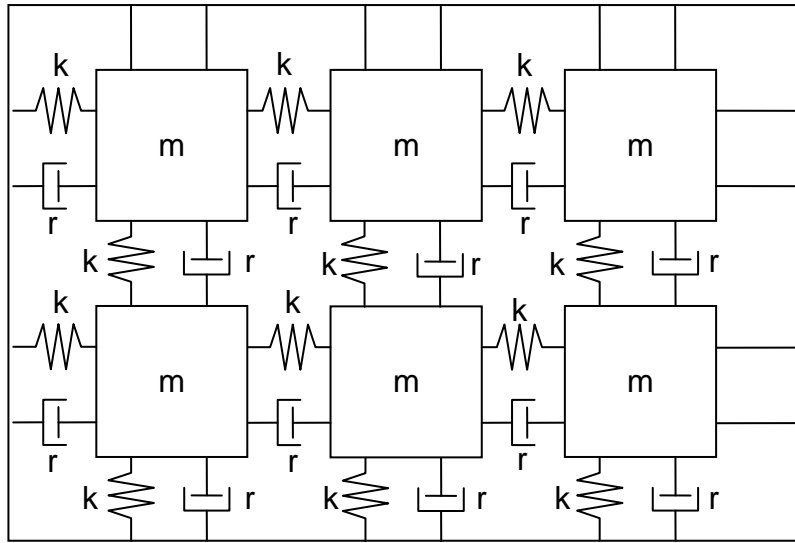


Рис.6. Модель системы с распределёнными параметрами.

Один из наиболее важных показателей любой конструкции – это число степеней свободы. Практически оно показывает и определяет положение системы в пространстве в любой момент времени.

В системе с одной степенью свободы внешней силе  $F(t)$  в каждый момент времени будут противодействовать силы инерции массы –  $F_m$ , жесткости –  $F_k$ , демпфирования –  $F_r$ .

$$F(t) = F_m + F_r + F_k \quad (4.1)$$

Каждую из составляющих можно представить в следующем виде:

$$F_m = m \frac{d^2 \xi}{dt^2}, \quad F_r = r \frac{d\xi}{dt}, \quad F_k = k\xi,$$

$\xi$  - смещение системы от положения равновесия под воздействием силы  $F(t)$ .

В таком случае, мы получаем линейное дифференциальное уравнение:

$$F(t) = m \frac{d^2 \xi}{dt^2} + r \frac{d\xi}{dt} + k\xi, \quad (4.2)$$

оно описывает состояние системы в любой момент времени.

Уравнение собственных колебаний системы можно получить, приравняв  $F(t)$  к 0.

$$m \frac{d^2 \xi}{dt^2} + r \frac{d\xi}{dt} + k\xi = 0, \quad (4.3)$$

решение этого уравнения обычно записывается в следующем виде:

$$\xi = \xi_0 e^{-\delta t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (4.4)$$

$\varphi_0$  и  $\xi_0$  – начальные амплитуда и фаза колебаний.

$\delta = \frac{r}{2m}$  – коэффициент демпфирования.

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m} - \delta^2} = 2\pi f_0$  – собственная круговая частота колебаний.

$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$  – собственная частота колебаний системы с демпфированием.

В реальных механических системах в каждом цикле колебаний происходят потери энергии, в результате чего колебания затухают.

Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний системы принимает вид:

$$F(t) = m \frac{d^2 \xi}{dt^2} + r \frac{d\xi}{dt} + k\xi = F_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.5)$$

Решение этого уравнения:

$$\xi = \underbrace{A_0 e^{-r \cdot \omega_0 t} \sin(\omega_0 t + \varphi_0)}_{\text{Описывает собственные колебания системы с частотой } \omega_0} + \underbrace{A_g \sin(\omega t + \varphi)}_{\text{Вынужденные колебания системы с частотой } \omega} \quad (4.6)$$

Описывает собственные колебания системы с частотой  $\omega_0$ .

Вынужденные колебания системы с частотой  $\omega$ .

$A_0, A_g$  – амплитуды собственных и вынужденных колебаний.

Когда частота собственных колебаний системы близка к частоте вынужденных колебаний, в колебательной системе возникает явление механического резонанса, при котором резко возрастает амплитуда колебательного движения элементов конструкции, что приводит их к поломкам.

#### 4.1.1. Расчет на прочность конструктивных элементов

Механическую прочность элементов конструкции проверяют методами сопротивления материалов и теорией упругости для про-

стейших конструкций (пластин, стержней, рам с сосредоточенной и распределенной нагрузкой). При расчётах на прочность сложную деталь, как правило, заменяют её упрощённой моделью.

К балкам относят тела призматической формы, длины которых значительно превышают все прочие геометрические размеры конструкции.

Пластинами считают тела прямоугольной формы, толщина которых мала по сравнению с размерами основания. Это, как правило: печатные платы, модули и т. п.

Рамными конструкциями моделируются многовыводные компоненты: МС, реле и прочие.

Выражения для расчетов на прочность:

$$\text{- при растяжении (сжатии) - } \sigma_{p.cx.} = \frac{P}{F} \leq [\sigma]_{p.cx.}; \quad (4.7)$$

$$\text{- при изгибе - } \sigma_u = \frac{M_u}{W_u} \leq [\sigma]_u; \quad (4.8)$$

$$\text{- при срезе - } \tau_{cp} = \frac{P}{F} \leq [\tau]_{cp}; \quad (4.9)$$

$$\text{- при кручении - } \tau_{kp} = \frac{M_{kp}}{W_{kp}} \leq [\tau]_{kp}; \quad (4.10)$$

Где  $P$  и  $F$  – механическое усилие и сила, действующие на деталь;

$[\sigma]_{p.cx.}$ ,  $[\sigma]_u$  – допускаемые напряжения при растяжении, сжатии и изгибе;

$[\tau]_{cp}$ ,  $[\tau]_{kp}$  – допускаемые напряжения на срез и кручение;

$M_u$  и  $M_{kp}$  – изгибающий и крутящий моменты;

$W_u$  и  $W_{kp}$  – моменты сопротивления при изгибе и кручении.

## 4.2. Защита средств ВТ от воздействия влажности

От прямого воздействия влаги, как правило, средства ВТ не защищены. Изначально они и не должны эксплуатироваться в этих условиях. Но даже в нормальной для эксплуатации обстановке на аппаратуру воздействуют пары влаги окружающего воздуха или другой какой-то газовой среды. В технических условиях на аппаратуру всегда указывается относительная влажность воздуха. Нормальной считается относительная влажность 60-75% при температуре 20-25°C.



Обычно влажность возникает из-за конденсации водяных паров на холодных поверхностях конструкции (как внутри аппаратуры, так и снаружи). Выпадение росы обычно вызывается понижением температуры, которое всегда наблюдается при отключении и последующем хранении аппаратуры.

В результате движущихся потоков воздуха, влага почти всегда осаждается на одних и тех же местах конструкции. Внутри неё капли конденсата обычно стекают в поддон и собираются в местах «ловушек влаги». В результате аппаратура находится под постоянным воздействием влаги. Естественно, что при длительном воздействии влаги, металлические конструкции подвергаются коррозии, органические материалы – набуханию и гидролизу. Продуктом гидролиза является органическая кислота, разрушающая и вызывающая интенсивную коррозию металлических несущих конструкций. Наличие во влажной атмосфере промышленных газов и пыли приводит к прогрессирующей коррозии.

Существенно влияние влаги на электрические соединения. При повышенной влажности корродируют проводники, на разъемных контактах появляются налеты, ухудшается их качество, отказывают паяные соединения, особенно если они загрязнены.

Слоистые диэлектрики при поглощении влаги изменяют параметры и характеристики. Образование на печатных платах водяной пленки приводит к снижению сопротивления изоляции диэлектриков, появлению токов утечки, электрическим пробоям и т.д. Также ведет к механическим повреждениям вследствие набухания и высыхания материалов.

Влажность ускоряет разрушение лакокрасочных покрытий, нарушает герметизацию и целостность заливки элементов. За 3-4 года эксплуатации при относительной влажности ниже 20% и температуре равной 30°C полностью высыхает изоляция проводов, в результате чего она становится ломкой и меняет свои свойства.

Защита аппаратуры от воздействия влажности осуществляется соответствующими материалами, покрытиями, применением усиленной вентиляции, поддержанием более высокой температуры внутри изделия, использованием поглотителей влаги и т.д.

Из покрытий применяются: **металлические, химические и лакокрасочные.**

**Металлические** покрытия образуют с основным материалом детали контактную пару. В зависимости от полярности потенциала различают покрытия – анодные (отрицательный потенциал покрытия по отношению к основному металлу) и катодные (положительный потенциал покрытия). При коррозии может разрушаться как основной материал, так и покрытие. Разрушение происходит из-за наличия пор

в покрытиях, повреждений в виде сколов, царапин, трещин и т.д. Разрушение будет более интенсивным, чем больше разница потенциалов между основным металлом и покрытием. При анодном покрытии вследствие коррозии разрушается само покрытие, основной материал детали не подвергается разрушению. При катодном покрытии все происходит наоборот.

В качестве материалов покрытий основное распространение получили: никель, цинк, медь, кадмий, олово, серебро. Толщина покрытия выбирается в зависимости от материала и способа нанесения покрытия. Для улучшения механических и защитных свойств покрытия рекомендуют многослойные покрытия из разнородных материалов.

Полученное химическим способом покрытие менее прочно, чем металлическое. Образующаяся при этом защитная пленка химически пассивна, устойчива, имеет хороший декоративный вид. Ее толщина обычно 1-15 мкм. Такие покрытия обычно получают несколькими путями:

- **оксидирование** – получение окисной пленки на стали, алюминии и его сплавах. Такое покрытие имеет хорошие антикоррозионные свойства, но непрочное и микропористое;

- **анодирование** – декоративное покрытие алюминия и его сплавов электрохимическим способом. Защитная пленка химически устойчива и обладает высокими электроизоляционными свойствами;

- **фосфатирование** – процесс образования на стали защитной пленки с высокими антикоррозионными и электроизоляционными свойствами.

Лакокрасочные покрытия обычно защищают детали от коррозии. Один из недостатков – низкая механическая прочность и термостойкость. Толщина лакокрасочных покрытий от 20 до 200 мкм.

Лаковое покрытие – толщина 80-130 мкм – защищает плату с компонентами от влажности. Недостаток – оно требует высокой чистоты производственных процессов и усложняет замену неисправных компонентов.

#### 4.3. Защита средств ВТ от температурных воздействий

Обычно все модули СВТ функционируют в строго ограниченных температурных пределах. Отклонение от указанных диапазонов может привести к необратимым структурным изменениям компонентов. Повышенная температура снижает диэлектрические свойства материалов, ускоряет коррозию конструкции. При пониженной температуре затвердевают и растрескиваются резиновые детали, повышается хрупкость материалов. Различия в коэффициентах линейного расши-

рения материалов обычно приводит к разрушению залитых компаундом конструкций.

**Нормальный температурный режим** – это такой, который при изменении в определенных пределах внешних температурных воздействий обеспечивает изменение параметров и характеристик конструкций в пределах, указанных в технических условиях (ТУ).

Изменение температуры внутри конструкций относительно нормальной на каждые  $10^0\text{C}$  в любую сторону, уменьшает срок службы аппаратуры в два раза. Обеспечение нормального теплового режима приводит к усложнению конструкции, увеличению габаритов и массы, введению дополнительного оборудования, затратам электрической энергии.

Чаще всего возникает вопрос при рассмотрении температурного режима – это удаление избытка теплоты в результате саморазогрева аппаратуры. Передача теплоты от нагретой аппаратуры в окружающую среду обычно осуществляется тремя путями: кондукцией, конвекцией и излучением.

#### ***4.3.1. Теплоотвод методом кондукции***

С увеличением плотности компоновки ЭА большая доля тепла удаляется кондукцией. Для улучшения условий отвода теплоты от тепловыделяющих элементов в конструкции применяют тепловые разъемы, теплоотводящие шины, печатные платы на металлической основе и т.д. Количество теплоты, передаваемое в статистическом режиме кондукцией определяется выражением:

$$Q_k = \alpha_m \frac{S}{l} \Delta t, \quad (4.11)$$

где  $\alpha_m$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{кал/с}\cdot\text{см}\cdot^0\text{C}$ ;

$S$  – площадь, через которую проходит тепловой поток,  $\text{см}^2$ ;

$l$  – длина пути передачи теплоты,  $\text{см}$ ;

$\Delta t$  – разность температур между охлаждаемой конструкцией и окружающей средой,  $^0\text{C}$ .

Пусть 
$$G = \alpha_m \frac{S}{l} \quad (4.12)$$

- есть тепловая проводимость,

тогда:

$$Q_k = G \Delta t, \quad (4.13)$$

Величина, обратная тепловой проводимости – есть тепловое сопротивление:

$$R = \frac{1}{G} = \frac{l}{\alpha_m S} \quad (4.14)$$

Реальные конструкции деталей обычно имеют достаточно сложную форму и это затрудняет определение их тепловых сопротивлений. Обычно рекомендуют следующие способы получения тепловых моделей:

- на поверхность детали условно наносится ортогональная координатная сетка;
- на пересечениях линий координатной сетки выделяются узлы (если на поверхности детали осуществляется подвод или съем теплоты, то узлы обязательно должны находиться в этих точках);
- между узлами в вертикальном и горизонтальном направлении определяются тепловые сопротивления фрагментов детали по формуле (4.14);
- составляются уравнения теплового баланса;
- для каждого узла детали определяется температура перегрева.

Рассмотрим пример расчета отвода тепла на конкретном модуле. Модуль можно представить пластиной. Пусть на пластине установлены теплоотводящие элементы  $Q_1...Q_4$ , т.е. используем таким образом теплоотвод **методом кондукции**.

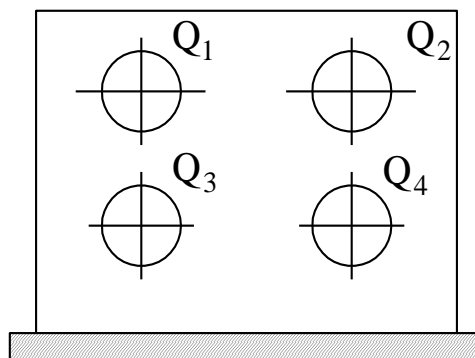


Рис.7. Пластина с тепловыводящими элементами.

$\alpha_m$  – коэффициент теплопроводности пластины во всех направлениях одинаков. Расстояния между тепловыводящими элементами, элементами и краями пластины тоже одинаковы. Для перехода к тепловой модели условно наложим на пластину - сетку таким образом, чтобы все тепловыводящие элементы оказались в узлах этой сетки.

Теперь от тепловой модели перейдем к электрической, заменив показатели температуры в узлах сетки электрическими потенциалами, а тепловые сопротивления – омическими, тепловые потоки – токами.

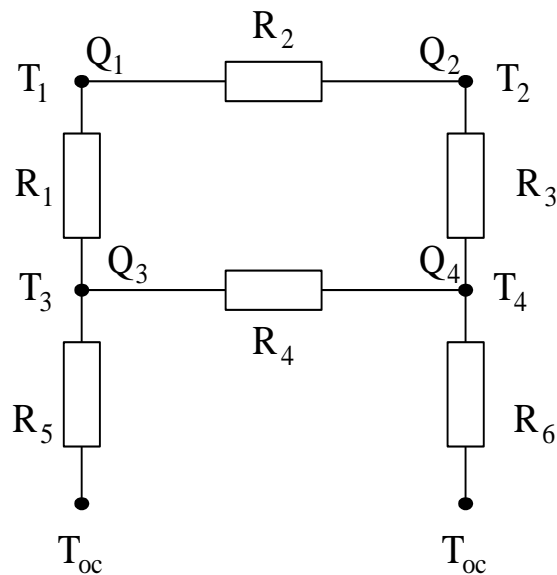


Рис.8. Электрическая модель – аналог тепловой модели.

$T_1...T_4$  – температура в соответствующих узлах сетки;

$T_{oc}$  – температура окружающей среды;

$R_1...R_6$  – тепловые сопротивления (по условию они равны);

$Q_1...Q_4$  – тепловые потоки.

Произвольно зададимся направлениями тепловых потоков в сопротивлениях и запишем систему уравнений теплового баланса для узлов  $T_1...T_4$ .

Так как  $Q = G\Delta t$  для каждого узла и

$$G = \frac{1}{R}, \quad \text{отсюда} \quad Q = \frac{\Delta t}{R}$$

Система уравнений будет иметь следующий вид:

$$\begin{cases} Q_1 = (T_1 - T_2)/R + (T_1 - T_3)/R \\ Q_2 = (T_2 - T_1)/R + (T_2 - T_4)/R \\ Q_3 = (T_3 - T_1)/R + (T_3 - T_4)/R + (T_3 - T_{oc})/R \\ Q_4 = (T_4 - T_2)/R + (T_4 - T_3)/R + (T_4 - T_{oc})/R \end{cases} \quad (4.15)$$

Так как тепловые сопротивления по условию равны, то систему можно преобразовать:

$$\left\{ \begin{array}{l} RQ_1 = 2T_1 - T_2 - T_3 \\ RQ_2 = 2T_2 - T_1 - T_4 \\ RQ_3 = 3T_3 - T_1 - T_4 - T_{oc} \\ RQ_4 = 3T_4 - T_2 - T_3 - T_{oc} \end{array} \right. \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} RQ_1 = 2T_1 - T_2 - T_3 \\ RQ_2 = 2T_2 - T_1 - T_4 \\ RQ_3 + T_{oc} = 3T_3 - T_1 - T_4 \\ RQ_4 + T_{oc} = 3T_4 - T_2 - T_3 \end{array} \right. \quad (4.16)$$

После приведения системы к нормальной форме получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} RQ_1 = 2T_1 - T_3 - T_2 \\ RQ_2 = -T_1 + 2T_2 - T_4 \\ RQ_3 + T_{oc} = -T_1 + 3T_3 - T_4 \\ RQ_4 + T_{oc} = -T_2 - T_3 + 3T_4 \end{array} \right. \quad (4.17)$$

Данную систему можно представить в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} RQ_1 \\ RQ_2 \\ RQ_3 + T_{oc} \\ RQ_4 + T_{oc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & 2 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & 3 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

или  $B=AX$

Для решения данной системы можно использовать методы: Крамера, обратной матрицы, наименьших квадратов и т.д.

#### **4.3.2. Теплоотвод методом конвекции**

Данный метод заключается в том, что при отводе тепла используют воздушное естественное, принудительное и водо-воздушное охлаждение.

При высоких требованиях к стабильности в схемах и к стабильности параметров схем применяют термостатирование узлов и блоков.

**Естественное охлаждение** обычно используется в бытовой аппаратуре с плотностью тепловых потоков от охлаждаемых поверхностей не более  $0,05 \text{ Вт/см}^2$ . Метод охлаждения естественной конвекцией – самый простой. При компоновке аппаратуры необходимо стремиться к равномерному распределению выделяемой мощности по всему объему изделия. Компоненты и узлы с большими тепловыделениями обычно располагают в верхней части корпуса или вблизи стенок, критичные к перегреву компоненты – в нижней части, их обычно защищают тепловыми экранами.

Блестящие экраны, разделяющие теплонагруженные и чувствительные к перегреву модули снижают лучистый тепловой поток приблизительно вдвое. В целях выравнивания температуры поверхности внутри аппаратуры теплонагруженные модули должны иметь высокую степень черноты. Для этого внутренние поверхности кожухов и каркасов окрашиваются черными красками или лаками. В этом случае необходимо защищать аппаратуру от прямого попадания солнечных лучей, которые могут вызвать перегрев черных поверхностей (температура достигает и превышает  $25...30^\circ\text{C}$ ).

При компоновке аппаратуры необходимо избегать образования «ловушек тепла», т.е. таких мест, где отсутствуют конвективные потоки воздуха. Для выравнивания температуры в каналах, образуемых установленными рядами модулей, должны предусматриваться зазоры не менее 30 мм.

Для конструкций производят перфорированные кожухи, где предусматривают вентиляционные отверстия (круглой, квадратной и прямоугольной формы, жалюзи). Обычно их диаметр и разрез в сечении 4, 6, 8, 10 мм.

Суммарная площадь вентиляционных отверстий в дне или крышке должна составлять 20-30 % от живого сечения кожуха.

Обычно при установке конструкции между установочной поверхностью и дном должен быть зазор – не менее 30 мм, с помощью которого поступают свободные конвективные потоки воздуха внутрь прибора. Этот зазор можно получить путем установки прибора на амортизаторы опорного типа.

Количество теплоты, удаляемой с поверхности  $S$  естественной конвекцией, описывается следующей формулой:

$$Q = 4.187 \cdot 10^{-4} h_c S \Delta t, \quad (4.19)$$

$S$  – площадь поверхности, с которой удаляется тепло,  $\text{см}^2$ ;

$\Delta t$  – перегрев,  $^\circ\text{C}$ ;

$h_c$  – коэффициент конвективной теплопередачи:

$$h_c = 0.52 C (55 \Delta t / l)^{0.25}, \quad (4.20)$$

где  $C$  – постоянная, зависящая от ориентации поверхности (для вертикальной плоскости  $C=0,56$ , для горизонтальной –  $C=0,52$ , для нижней горизонтальной –  $C=0,26$ );

$l$  – длина пути теплового потока.

**Принудительное воздушное охлаждение** в данном методе – это применение автономных вентиляторов, применяемых по схеме охлаждения воздуха снизу вверх и сверху вниз. По первой схеме воздух забирается у пола, по второй – у потолка.

Применяется **приточная, вытяжная и приточно-вытяжная схемы вентиляции**.

В **приточной** схеме вентилятор засасывает охлаждающий воздух внутрь изделия. В **вытяжной** – нагретый воздух выталкивается из изделия. В **приточно-вытяжной** используется два вентилятора – на входе и на выходе изделия.

Работа вентиляции по приточной схеме более благоприятна, она обеспечивает понижение температуры и работу в более плотной окружающей среде. Эта вентиляция более производительна по сравнению с вытяжной.

Вытяжную схему вентиляции обычно используют в аппаратуре с большими аэродинамическими сопротивлениями. Приточно-вытяжная схема позволяет увеличить напор охлаждаемого воздуха.

#### 4.3.3. Теплоотвод лучеиспусканием

Обычно мощность, отдаваемая лучеиспусканием с поверхности тела, обозначается через  $P_{\text{л}}$ . Это мощность, отдаваемая от нагретой поверхности тела -  $S_i$  с температурой  $T_i$  на поверхность другого тела, с температурой  $T_j$ :

$$P_{\text{л}} = \alpha_{\text{л}} S_i (T_i - T_j), \quad (4.21)$$

$$\alpha_{\text{л}} = 5.67 \cdot 10^{-8} \varepsilon \varphi_{ij} \frac{(T_i + 273^0)^4 - (T_j + 273^0)^4}{T_i - T_j} \quad - \quad \text{коэффициент}$$

теплообмена лучеиспусканием, Вт/м<sup>2</sup>К;

$\varepsilon$  – приведенная степень черноты;

$\varphi_{ij}$  – коэффициент, показывающий, какая часть энергии тела  $i$  попадает на тело  $j$ .

#### 4.3.4. Выбор способа охлаждения

При выборе способа охлаждения СВТ обычно учитываются режимы работы, конструктивное исполнение, величина рассеиваемой мощности, окружающая среда.



Режимы работы аппаратуры бывают длительными, кратковременными, кратковременно-повторными и характеризуются длительностью включенного и выключенного периода. Длительный режим свойственен стационарной аппаратуре, которая находится во включенном состоянии в продолжении многих часов, кратковременный – бортовой аппаратуре, время работы которой мало и исчисляется несколькими минутами или часами. С большой вероятностью можно утверждать, что при проектировании сложной аппаратуры с длительным временем включенного состояния возникает необходимость в разработке принудительной системы охлаждения (СО). Для аппаратуры разового использования с кратковременным режимом работы возможно обойтись без принудительной СО. Решение о разработке СО для аппаратуры кратковременно-повторного режима работы принимается лишь после анализа длительностей включенного-выключенного состояний и характера её перегрева и охлаждения.

Переносная электронная аппаратура в силу малых рассеиваемых мощностей принудительной СО не снабжается. В сложной аппаратуре необходимо использовать принудительную воздушную или водо-воздушную СО. Водо-воздушной СО снабжаются, например, ЭВМ в герметичном исполнении.

Тепловой анализ электронной аппаратуры позволяет получить предварительные данные о разрабатываемой СО. Для этого по каждому модулю первого уровня составляется перечень тепловыделяющих компонентов, устанавливаются рассеиваемые мощности и максимально допустимые температуры. На основе этих данных выделяются критичные к перегреву компоненты, а также компоненты, устанавливаемые на теплоотводы. Далее рассчитываются удельные поверхностные или/и объёмные тепловые потоки модулей высших уровней. Для этого нужно вычислить мощности, рассеиваемые в модулях компонентами, внешнюю поверхность или объём модулей. По значениям плотности теплового потока  $q_s$  и  $q_v$  в первом приближении выбирают систему охлаждения, табл. 10 по допустимому перегреву в 40°C.

Затем для всех модулей, начиная с модулей первого уровня, составляется перечень компонентов или модулей низших уровней, осуществляется размещение их по критерию минимального перегрева, по уравнению теплового баланса определяется расход хладагента. Если в качестве хладагента предполагается использовать воздух, то необходимо установить его количество, максимально возможную температуру на входе СО, проверить запыленность и наличие в нём агрессивных примесей. Присутствие пыли в воздухе требует установки противопылевых фильтров. Наличие в воздухе агрессивных газов, например сернистого ангидрида, вызывающего интенсивную коррозию металлических конструкций, требует применения специальных фильтров.

Таблица №10

Способ охлаждения	Негерметичная $q_s, \text{Вт/см}^2$ , не более	Герметичная $q_v, \text{Вт/см}^2$ , не более
Естественная конвекция	0,05	0,02
Принудительная конвекция	0,50	0,45
Водо-воздушный способ охлаждения	0,65	0,60

Воздух на входе СО может быть тёплым, для его охлаждения до необходимой температуры в СО предусматривается кондиционер. При отсутствии на объекте эксплуатации воздуха в необходимом количестве или с необходимыми параметрами можно использовать жидкий хладагент (воду, топливо) по схеме водо-воздушного охлаждения. Температура жидкого хладагента может быть понижена теплообменниками.

Отсутствие на объекте достаточного количества воздуха или жидкости заставляет конструктора предусмотреть отвод теплоты на холодные массивные элементы несущих конструкций кондукцией. Если на объекте не окажется источников электропитания с требуемыми напряжениями и мощностями, возникает необходимость во введении в конструкцию источников питания СО, что несомненно ухудшает основные конструктивные параметры охлаждаемой электронной аппаратуры.

#### 4.4. Защита средств ВТ от воздействия помех

Для начала необходимо установить понятие – помеха. **Помеха** – непредусмотренный при проектировании электронной аппаратуры сигнал, который может вызвать нежелательное воздействие, выраженное в виде нарушения функционирования, искажения передаваемой или хранимой информации и т.п. Помехи могут выступать в виде напряжений, токов, электрических зарядов.

Источники помех очень разнообразны по физической природе. Они подразделяются на **внутренние** и **внешние**.

**Внутренние помехи** обычно возникают внутри работающей аппаратуры. Источниками электрических помех являются блоки пита-

ния, цепи распределения электроэнергии, термопары, потенциалы, возникающие при трении. Источниками магнитных помех являются трансформаторы и дроссели. При наличии пульсаций выходного напряжения вторичных источников электропитания цепи распределения электроэнергии возникают электромагнитные помехи.

Внутренние помехи возникают от рассогласования волновых сопротивлений линий связи с выходными и входными сопротивлениями модулей, которые эти линии соединяют, а также помехи, возникающие по земле.

**Внешние помехи** – это помехи сети электропитания, помехи от сварочных аппаратов, от щеточных двигателей, от передающей радиоэлектронной аппаратуры, а также помехи, вызванные разрядами статического электричества, атмосферными и космическими явлениями, ядерными взрывами и т. д.

Действие на аппаратуру внешних помех по физической природе аналогично действию внутренних. Обычно ловителями или приемниками помех являются высокочувствительные усилители, линии связи, магнитные элементы, т. е. те элементы, которые изменяются под действием полей рассеивания источников помех. Помехи проникают в аппаратуру непосредственно по проводам или проводникам (гальваническая помеха), через электрическое поле (емкостная помеха), через магнитное поле (индуктивная помеха), через электромагнитное поле.

Рассмотрим более подробно возникновение помех по проводам или **гальваническую помеху**.

Гальваническая связь возникает в результате протекания токов и падения напряжений на электрических соединениях конструкции. Рассмотрим схему, которая состоит из  $n$  модулей с общим питающим напряжением и общим нулевым потенциалом (т. е. землей), рис.9.

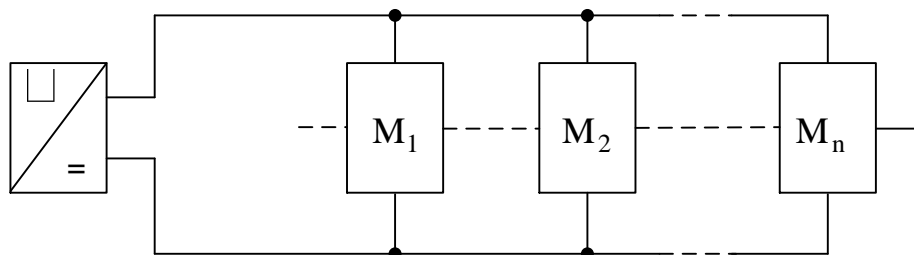


Рис.9. Схема  $n$  – модулей с общим питающим напряжением и общей землей.

При рассмотрении данной схемы допустим, что работает, т. е. функционирует, только последний модуль из  $n$  модулей, т. е.  $M_n$ ,

остальные находятся в режиме ожидания. При протекании тока к модулю  $M_n$  на шинах питания и земле будет иметь место падение напряжений  $U_n$  и  $U_z$  (т. е. действует гальваническая помеха). Это падение напряжений может сказываться на работоспособности модулей  $M_1...M_{n-1}$ . При одновременном функционировании нескольких модулей схемы гальваническая помеха значительно возрастает. Поэтому проводники, объединяющие модули в одну систему, должны быть по возможности короткими, а их поперечное сечение возможно большим, что приведет к уменьшению активного сопротивления и индуктивности проводов.

Для борьбы с такими помехами необходимо устранить цепи, по которым проходят совместные токи питания и земли. Таким образом, по проводам, связывающим модули в систему, передаются как полезные сигналы, так и сигналы помех. Эффективным схемным средством подавления или ослабления помехи является использование помехоподавляющих фильтров. Данная схема представлена на рис.10.

$R_1$  – выходное сопротивление вторичного источника питания;  
 $R_n, R_z$  – активное сопротивление участка шин питания и земли;  
 $L_n, L_z$  – индуктивность участка шин питания и земли.

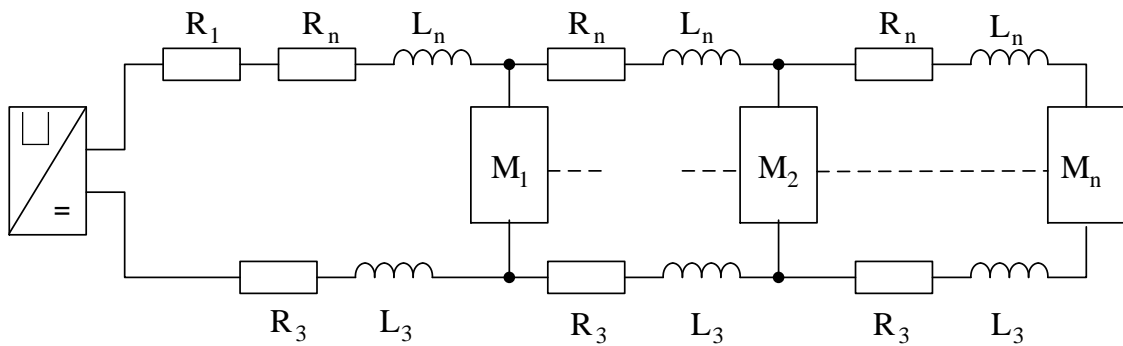
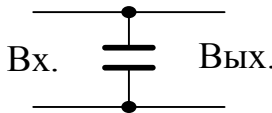
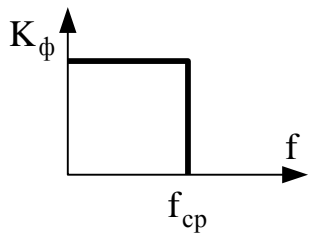
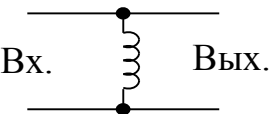
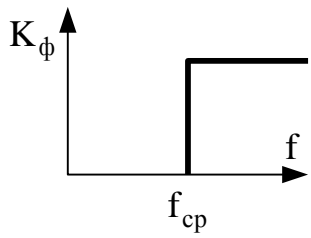
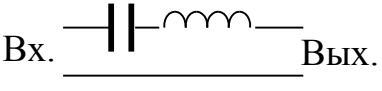
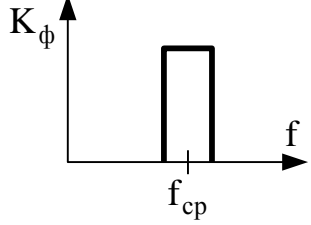
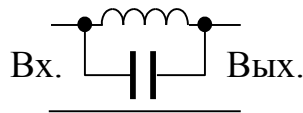
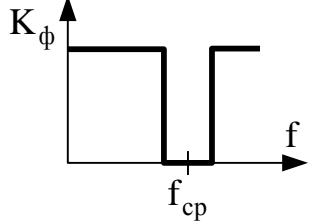


Рис.10. Схема из  $n$  – модулей с помехоподавляющими фильтрами.

Обычно помехозащищающие фильтры характеризуются частотой среза  $f_{cp}$  и коэффициентом фильтрации  $K_\phi$ , равным отношению сигнала на входе и выходе фильтра. Существует несколько разновидностей фильтров, табл.11:

Таблица №11

№ п/п	Наименование фильтра	Схема	Характеристика
1	Низкочастотный фильтр		
2	Высокочастотный фильтр		
3	Полосопропускающий фильтр		
4	Полосоограничивающий фильтр		

В таблице 11 приведены электрические схемы и характеристики избирательных однозвенных электрических фильтров. Зная спектр частот полезного сигнала и помехи, задаваясь ослаблением помехи до приемлемых значений (в идеальном случае – до 0), по характеристикам выбирают схему фильтра или составляют многозвенный фильтр, состоящий из нескольких фильтров.

Обычно **сетевыми фильтрами** считают полосопропускающие фильтры, они передают на выход только частоту сетевого напряжения и в то же время не допускают передачи помех по проводам в сеть от источника питания.

Рассмотрим схему сетевого фильтра, рис.11. В данной схеме  $C_1$  – ослабляет противофазные помехи,  $C_2$  и  $C_3$  и трансформатор TV – синфазные помехи (симметрирующий трансформатор TV с одинаковым направлением намоток имеет высокое сопротивление синфазным

помехам и низкое – противофазным). Сопротивление TV переменному току частоты сети фактически равно активному сопротивлению его обмоток. Для защиты аппаратуры от перенапряжения первичной сети в схему фильтра вводят газоразрядники, варисторы, стабилитроны, предохранители (FU).

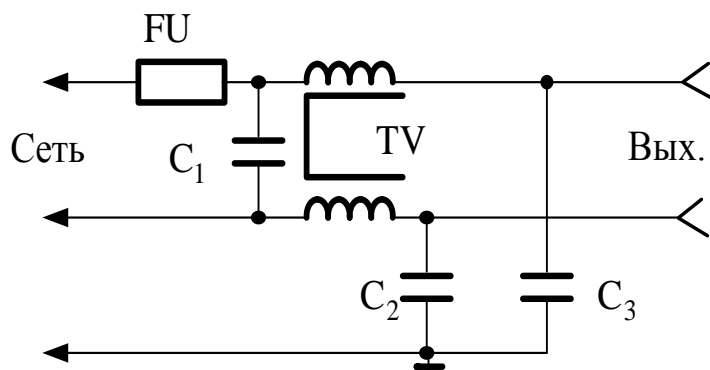


Рис.11. Схема сетевого фильтра

Наряду с фильтрами практически с той же целью используют **экраны**. Экраны включаются в конструкцию для ослабления нежелательного возмущающего поля в некотором ограниченном объеме до приемлемого уровня. Возможны два варианта защиты: в первом случае – экранируемая аппаратура размещается внутри экрана, а источник помех – вне его; во втором случае – экранируется источник помех, а защищаемая аппаратура располагается вне экрана.

Первый вариант используют при защите от внешних помех, второй – от внутренних. В обоих случаях в качестве экранов используют металлические оболочки.

В электронной аппаратуре роль экранов чаще всего выполняют кожухи, панели и крышки приборов, блоков и стоек. Отверстия и щели в экранах уменьшают эффективность экранирования, поэтому, конструируя экран, их необходимо исключать или свести к минимуму. Но полностью, как правило, от них не избавиться. Щели возникают, если аппаратура защищается крышками и лицевыми панелями. Отверстия вводятся в кожух для установки соединителей, элементов управления, индикации, обеспечения нормального теплового режима. Эффективность экрана не ухудшается, если в его конструкции выполнены отверстия, максимальные размеры которых не превышают  $\frac{1}{2}$  минимальной длины волны экранируемого сигнала.

Принцип действия электрического экрана можно рассмотреть на примере, когда между источником помехи – И электрического поля (т.е. провод, по которому протекает ток) и входной и выходной лини-

ями модуля имеет место емкостная связь –  $C_{1И}$  – входная и  $C_{2И}$  – выходная, приводящие к искажению как входного, так и выходного сигналов, рис 12.

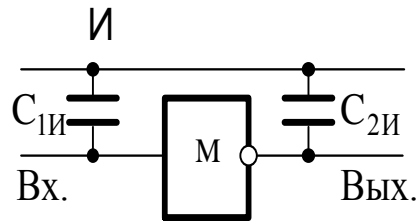


Рис.12. Модуль под воздействием электрического поля.

В конструкцию введем заземляющий экран Э - высокой проводимости, рис.13. Результатом введения в конструкцию заземляющего экрана будет появление паразитных емкостей на экран источника помехи  $C_{y\epsilon}$ , входной и выходной линий  $C_{1\epsilon}$  и  $C_{2\epsilon}$ .

Источник помех окажется подсоединенным на землю через емкость  $C_{y\epsilon}$ , а входы и выходы схемы нагружены на емкости  $C_{1\epsilon}$  и  $C_{2\epsilon}$ .

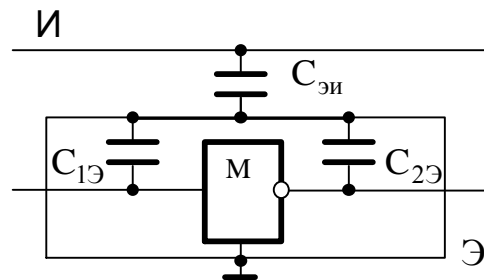


Рис.13. Модуль, защищённый экраном.

Тех же результатов можно добиться при использовании вместо общего экрана экранированные провода для входной и выходной линий. Для устранения гальванической помехи по земле экраны проводов необходимо заземлять в одной точке, как показано на схеме, рис.14.

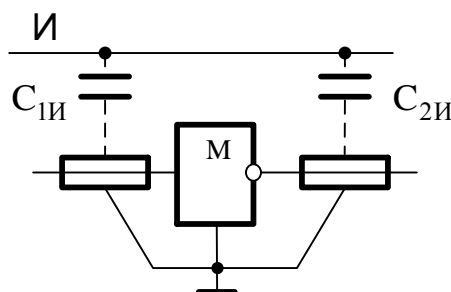


Рис.14. Модуль с экранированным проводом.

**Электромагнитное экранирование** - охватывает диапазон частот от 1кГц до 1ГГц. Действие электромагнитного экрана основано на отражении электромагнитной энергии и её затухании в толще экрана. Как видно из рисунка 15, электромагнитная энергия  $W$  отражается на границах экрана, т. е. на границе диэлектрик-экран  $W_{дэ}$  и экран-диэлектрик  $W_{эд}$ , затухает в толще экрана  $W_{э}$  и частично проникает в экранируемое пространство  $W_n$ .

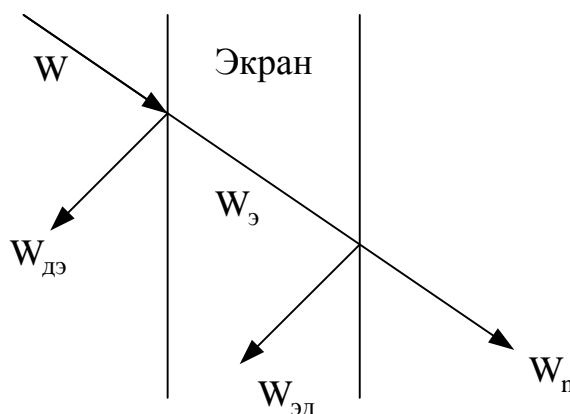


Рис.15. Электромагнитный экран

Экранирование поглощением объясняется тепловыми потерями на вихревые токи в материале экрана, экранирование отражением – несоответствием волновых параметров материала экрана и окружающей среды. Электромагнитное экранирование выполняется как немагнитными, так и магнитными металлами.

Немагнитные материалы используются в низкочастотной области спектра, ферромагнитные материалы высокой проницаемости – во всём частотном диапазоне.

Можно дать следующие рекомендации по выбору материалов при электромагнитном экранировании. Для частот менее 1 МГц хорошие результаты дают медные и алюминиевые экраны, а при частотах выше 1 МГц – экраны из стали.

Наилучшие результаты можно получить при применении многослойных экранов – последовательно чередующихся слоёв магнитных и немагнитных металлов. Возможны различные варианты слоёв: медь-пермаллой-медь, пермаллой-медь, медь-сталь-медь и др. Введение воздушного промежутка между слоями в 20-40% суммарной толщины экрана улучшает эффективность экранирования. При защите аппаратуры от внешнего поля материалы с низкой магнитной проницаемостью помещают наружу, с высокой – внутрь. Если экран защищает источник электромагнитного поля, то материал с низкой маг-



нитной проницаемостью должен быть внутренним слоем, а с высокой – наружным.

Из немагнитных материалов с позиции минимальной стоимости и массы наилучшими свойствами обладает магний, но он легко корродирует, а образующийся слой окисла ухудшает контакт экрана с корпусом изделия. Цинк дешевле меди, имеет меньшую плотность, но мягок. Латунь по своим параметрам занимает среднее положение в ряду материалов, но благодаря отличным антикоррозионным свойствам и стабильности сопротивления электрическому контакту её рекомендуют для широкого применения в качестве материала экрана.

Железо, если бы не низкая его коррозионная стойкость, является наилучшим материалом для магнитных экранов. В электронной аппаратуре получили распространение экраны из стали и пермаллоев. Стальные экраны с малой начальной проницаемостью обеспечивают малое, но постоянное экранирование как на низких, так и на частотах вплоть до десятков килогерц.

Экраны из пермаллоев с высокой начальной проницаемостью позволяют получить эффективное экранирование, но в узком диапазоне частот от нуля до нескольких сотен герц. С увеличением частоты возрастают вихревые токи экрана, которые вытесняют магнитное поле из толщи экрана и уменьшают его магнитопроводимость, а это сказывается на эффективности экранирования. Расчёты экранов сводятся к определению ослабления нежелательного поля внутри экрана при выбранном материале и толщине стенок экрана.

#### **4.5. Надёжность конструкции электронной аппаратуры**

**Надёжность** – свойство электронной аппаратуры выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, при соблюдении режимов эксплуатации, правил технического обслуживания, хранения и транспортирования.

**Ресурс** – продолжительность работы электронной аппаратуры до предельного состояния, установленного в нормативно-технической документации.

Случайное событие, приводящее к полной или частичной утрате работоспособности электронной аппаратуры, называется **отказом**.

Отказы по характеру изменения параметров аппаратуры до момента их возникновения подразделяют на внезапные (катастрофические) и постепенные. Постепенные отказы характеризуются времен-

ным изменением одного или нескольких параметров, внезапные – скачкообразно изменяющимися.

По взаимосвязи между собой различают отказы независимые, не связанные с другими отказами, и зависимые.

По повторяемости возникновения отказы бывают однократные (сбои) и перемежающиеся. Сбой – однократно возникающий и самоустранившийся отказ, перемежающийся – многократно возникающий сбой одного и того же характера.

По наличию внешних признаков различают отказы явные, т.е. имеющие внешние признаки после их появления, и неявные (скрытые), для обнаружения которых требуется провести соответствующие действия.

По причине возникновения отказы подразделяют на конструкционные, производственные и эксплуатационные, вызванные нарушением установленных норм и правил при конструировании, производстве и эксплуатации электронной аппаратуры.

По характеру устранения отказы делятся на устойчивые и самоустраниющиеся. Устойчивый отказ устраняется заменой отказавшего элемента (модуля), а самоустраниющийся исчезает сам, но может повториться. Самоустраниющийся отказ может проявиться в виде сбоя или в форме перемежающегося отказа.

Возникновение отказов происходит как из-за внутренних свойств аппаратуры, так и из-за внешних воздействий и носит случайный характер. Для количественной оценки отказов используют вероятностные методы.

Безотказность – способность электронной аппаратуры непрерывно сохранять заданные функции в течении установленного в технической документации времени – характеризуется вероятностью безотказной работы –  $P(t)$ , частотой отказов –  $f(t)$ , интенсивностью отказов –  $\lambda(t)$ , средней наработкой на отказ (продолжительностью работы изделия до появления отказа) –  $T_{cp}$ . В некоторых случаях надёжность аппаратуры удобно оценивать вероятностью отказа –  $q(t) = 1 - P(t)$ .

Вероятность безотказной работы и частоту отказов можно найти статистически по данным об отказах эксплуатируемых изделий.

$$P = \frac{N - n}{N}, \quad f = \frac{n}{Nt} \quad (4.22)$$

где  $N$  – число изделий в начале испытаний;  $n$  – число изделий, отказавших за время испытаний –  $t$  (при значительном числе изделий вероятность –  $P$  совпадает с вероятностью –  $P(t)$ , а частота отказов –  $f$ , с частотой –  $f(t)$ ).

Функцию частоты отказов можно записать в виде:

$$f(t) = \frac{q(t + \Delta t) - q(t)}{\Delta t} \quad (4.23)$$

При  $\Delta t \rightarrow 0$ , вероятность отказа –  $q(t)$  можно определить интегрированием функции частоты отказов:

$$q(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (4.24)$$

За время  $t$  вероятность безотказной работы:

$$P(t) = 1 - q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (4.25)$$

Продифференцировав данное выражение, получим формулу:

$$\frac{dP}{dt} = -f(t) \quad \text{или} \quad f(t) = -\frac{dP}{dt} = -P'(t) \quad (4.26)$$

Таким образом,  $f(t)$  характеризует скорость снижения надёжности во времени.

Критерием, более полно определяющим надёжность неремонтируемой электронной аппаратуры и её модулей, является интенсивность отказов –  $\lambda(t)$ . Это число отказов в единицу времени, отнесённое к среднему числу изделий, безотказно функционирующих в указанный промежуток времени. Этот показатель характеризует надёжность электронной аппаратуры в любой момент времени и рассчитывается по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n_i}{N_{cp} \Delta t_i}, \quad (4.27)$$

Где  $\Delta n_i = N_i - N_{i+1}$  – число отказов,  $N_{cp} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}$  – среднее число работоспособных изделий;  $N_i$  и  $N_{i+1}$  – количество работоспособных изделий в начале и конце промежутка времени –  $\Delta t_i$ .

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  связана с интенсивностью отказов  $\lambda(t)$  следующей зависимостью:

$$P(t) = \exp \left[ - \int_0^t \lambda(t) dt \right] \quad (4.28)$$

Если электронная аппаратура содержит  $N$  последовательно соединённых однотипных элементов, то  $\lambda(t) = N * \lambda(t)$ .

Средняя наработка на отказ –  $T_{cp}$  и вероятность безотказной работы –  $P(t)$ , связаны следующей зависимостью:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (4.29)$$

По статистическим данным:

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^m \Delta n_i t_{cpi} / N_i ; \quad t_{cpi} = (t_i + t_{i+1}) / 2 ; \quad m = t / \Delta t ,$$

где  $\Delta n_i$  – количество отказавших изделий за интервал времени –  $\Delta t_{cp} = t_{i+1} - t_i$ ;  $t_i$  и  $t_{i+1}$  – соответственно время в начале и в конце испытаний;  $t$  – интервал времени, за который отказали все изделия;  $m$  – число временных интервалов испытаний.

#### **4.5.1. Вероятность безотказной работы электронной аппаратуры**

Возникновение отказов в электронной аппаратуре носит случайный характер. Следовательно, время безотказной работы есть случайная величина, для описания которой используют разные распределения: Вейбулла, экспоненциальный, Релея, Пуассона.

Отказы в электронной аппаратуре, содержащей большое число однотипных неремонтируемых элементов, достаточно хорошо подчиняются распределению Вейбулла, а вероятность безотказной работы  $P(t)$ , частота отказов  $f(t)$ , средняя наработка на отказ  $T_{cp}$ , вычисляются по следующим формулам:

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 t^b), \quad t \geq 0, \quad \lambda_0 > 0, \quad b > 0; \quad (4.30)$$

$$f(t) = -P'(t) = \lambda_0 b t^{b-1} \exp(-\lambda_0 t^b); \quad (4.31)$$

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda_0 t^b) dt = \lambda_0^{-1/b} \Gamma(1 + 1/b), \quad (4.32)$$

где  $\Gamma$  – гамма-функция;  $\lambda_0$  и  $b$  – параметры распределения.

#### **4.5.2. Повышение надёжности электронной аппаратуры резервированием**

Резервирование – способ повышения надёжности аппаратуры, заключающийся в дублировании (иногда и многократном) электронной аппаратуры в целом или отдельных её модулей или элементов.

Различают следующие виды резервирования: постоянное (резервные элементы включены вместе с основным и функционируют в тех же режимах); резервирование замещением (обнаружение отказавшего элемента и замена его резервным); скользящее резервирование (любой резервный элемент может замещать любой отказавший).

Если  $P_c(t)$  – вероятность безотказной работы системы (модуля), то установка и включение параллельно нескольких таких же систем (модулей) приводит к увеличению результирующей вероятности безотказной работы резервированной системы  $P^p_c(t)$ , которую можно определить из следующей формулы:

$$P^p_c(t) = 1 - [1 - P_c(t)]^{m+1}, \quad (4.33)$$

где  $m$  - число включенных параллельно основной системе (модулю) резервных систем.

#### **4.5.3. Расчёт надёжности электронной аппаратуры**

Определив из ТЗ требуемую вероятность безотказной работы аппаратуры, конструктор распределяет эту вероятность по составляющим электронной аппаратуры модулям, подбирает элементы с необходимыми интенсивностями отказов, выявляет потребность и глубину резервирования, принимает меры по защите аппаратуры от воздействий дестабилизирующих факторов.

Расчёт надёжности электронной аппаратуры состоит в определении числовых показателей надёжности  $P(t)$  и  $T_{cp}$  по известным интенсивностям отказов комплектующих элементов. При этом считается, что, если выход из строя любого элемента приводит к выходу из строя всей электронной аппаратуры, то имеет место последовательное включение элементов. Усреднённые данные по интенсивностям отказов микросхем, электрорадиоэлементов, узлов и электрическим соединениям приведены в таблице №12.

Таблица №12

Интенсивности отказов комплектующих и электрических соединений

Элемент	Интенсивность отказов $\lambda * 10^{-6} \text{ 1/ч}$
Микросхемы в пластмассовом корпусе	0,1
Микросхемы в керамическом корпусе	0,01
Маломощные транзисторы	0,05
Мощные транзисторы	0,5
Маломощные диоды	0,02
Мощные диоды	0,2
Углеродистые резисторы	0,01
Проволочные резисторы	0,5
Регулируемые резисторы	2,0
Конденсаторы танталовые	0,02
Конденсаторы электролитические	0,2
Кристалл кварца	0,05
Переключатели	0,2
Реле	0,5
Вентиляторы	2,0
Трансформаторы	0,5
Пайка ручным способом	0,2
Пайка автоматическим способом	0,002
Разъёмный контакт	0,05
Соединение «под винт»	0,08
Соединение накруткой	0,0012
Соединение сваркой	0,0006
Соединение обжимкой	0,006

При конструировании необходимы данные об ожидаемых изменениях характеристик элементов в течение всего срока службы электронной аппаратуры. Например, если разрабатывается аппаратура со сроком службы 10 лет, то необходимо предварительно в течение 10 лет, если не используется какой-либо метод ускоренных испытаний, собирать данные об изменении параметров комплектующих элементов, что в общем случае нереально, так как за это время может устареть как элементная база, так и сама разрабатываемая электронная аппаратура.

Поэтому трудно ожидать совпадения реального и рассчитанного поведения системы, но расчёты надёжности необходимо выполнять, так как в ТЗ на разработку всегда указываются требуемые показатели надёжности.

Вероятность безотказной работы системы рассчитывается:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n [1 - q_i(t)] = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (4.34)$$

где  $q_i(t)$  и  $P_i(t)$  – соответственно вероятность отказа и вероятность безотказной работы  $i$  – го модуля за время  $t$ ;  $n$  – число модулей системы.

Из (4.34) и (4.28) получаем:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \exp \left[ - \int_0^t \lambda_i(t) dt \right] = \exp \left[ - \sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(t) dt \right], \quad (4.35)$$

где  $\lambda_i(t)$  – интенсивность отказов  $i$  – го модуля системы.

Модули одного иерархического уровня имеют приблизительно равную надёжность. Тогда для системы из  $K$  групп модулей одного уровня

$$\lambda(t) = \sum_{i=1}^K n_i \lambda_i(t),$$

$$P_c(t) = \exp \left[ - \sum_{i=1}^K n_i \int_0^t \lambda_i(t) dt \right], \quad (4.36)$$

где  $n_i$  – число модулей  $i$  – го уровня иерархии.

Для экспоненциального закона распределения, когда интенсивность отказов можно считать величиной постоянной,

$$\sum_{i=1}^K n_i \lambda_i(t) = \lambda(t) = const,$$

$$P_c(t) = \exp(-\lambda t)$$

В общем случае надёжность конструкции зависит от соотношения прочности и устойчивости, закладываемых в конструкцию при разработке, к нагрузке, которую приходится выдерживать аппаратуре в процессе эксплуатации. Под прочностью здесь понимается способность аппаратуры выдерживать без разрушений внешние температурные, механические, влажностные и прочие воздействия, под устойчивостью – способность к работе при тех же воздействиях.

Создание аппаратуры без излишних запасов прочности – важная и сложная задача, поскольку конструктор не всегда имеет чёткие количественные параметры внешних воздействий, отсутствуют или имеются неточные математические модели, позволяющие весьма ориентировочно произвести указанную оценку. Это приводит к внесению в конструкцию завышенных запасов прочности и устойчивости, так называемых коэффициентов незнания, уточнение которых – условие успешного обеспечения заданной надёжности при минимальной себестоимости.

## **5. Организация проектирования электронной аппаратуры.**

### **Техническая документация**

Разработка ЭВМ и систем – сложный комплекс теоретических, схемотехнических, проектно-конструкторских, технологических и производственных работ, приводящих в конечном итоге к выпуску машины, отвечающей заданным тактико-техническим требованиям.

Процесс разработки ЭВМ не имеет полной всеохватывающей математической базы и ведется методом многочисленных проб и последовательных приближений.

Последовательность этапов разработки ЭВМ и стадий выпуска конструкторской документации определяется Государственными стандартами. При разработке ЭВМ выпускают большое количество технической документации (конструкторско-технологической), состав которой также определяется Государственными стандартами.

В настоящее время в стране действует большое количество стандартов, которые сгруппированы по направлениям жизненного цикла изделий в следующие комплексы:

- единая система конструкторской документации (ЕСКД);
- единая система технологической документации (ЕСТД);
- единая система программной документации (ЕСПД);
- единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП);
- единая система защиты изделий и материалов от коррозии, старения и биоповреждений (ЕСЗКС) и др.

Основная задача стандартизации – обеспечить единую нормативно-техническую, информационную, методическую и организационную основу проектирования, производства и эксплуатации изделий. При этом обеспечивается использование единого технического языка и терминологии, взаимообмен документацией между предприятиями



без её переоформления, совершенствование организации проектных работ, возможность автоматизации разработки ТД с унификацией документов, совершенствование способов учёта, хранения и изменения документации.

### **5.1. Единая система конструкторской документации (ЕСКД)**

В настоящее время у нас в стране действует Единая система конструкторской документации (ЕСКД) – система Государственных стандартов, которые устанавливают правила и положения по порядку разработки, оформления и обращения технической документации, разрабатываемой в нашей стране.

Применение ЕСКД при разработке того или иного вида продукции обеспечивает:

- возможность взаимобмена техническими документами между различными предприятиями внутри страны;
- сокращение типов и упрощение форм технических документов и графических изображений, снижающих трудоемкость проектирования;
- механизацию и автоматизацию обработки технических документов и содержащейся в ней информации.

Требования стандартов ЕСКД распространяются на все виды конструкторской документации и научно-техническую литературу. Несоблюдение стандартов ЕСКД запрещается законом. Требования стандартов распространяются на все виды конструкций.

**Изделие** – любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на предприятии. Различают изделия основного производства, предназначенные для поставки (реализации) и изделия вспомогательного производства, предназначенные для собственного потребления предприятием-изготовителем.

**Деталь** – изделие, не имеющее составных частей и изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. К деталям также относят изделия, изготовленные с применением местной сварки, пайки, склеивания и т.д.

Пример деталей – печатная плата, ферритовый сердечник, лепесток разъема, держатель транзистора и т.д.

**Сборочная единица** – изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой, пайкой, склейкой, сшивкой и т.д.).

Пример сборочных единиц: ячейка, матрица запоминающего устройства, микросхема, разъем и т.д.

К сборочным единицам также относят:

- изделия, конструкция которых выполнена в виде, позволяющем разбить их на составные части для удобства упаковки, транспортирования и т. д.;

- совокупность изделий, имеющих общее функциональное назначение и совместно монтируемых в другой сборочной единице;

- совокупность изделий, имеющих общее функциональное назначение, совместно уложенных в тот или иной вид упаковки и предназначенных для использования совместно с другими упакованными изделиями.

**Комплекс** – изделие, составленное из двух или более сборочных единиц, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое из изделий, входящих в комплекс, может служить как для выполнения одной или нескольких основных функций, так и для выполнения вспомогательных.

В первом случае примером комплекса является система, состоящая из ЭВМ, входящих и исходящих устройств, изготовленных на специализированных предприятиях-изготовителях и стыкующихся с остальными устройствами машины только на месте эксплуатации.

Во втором случае в комплекс могут входить, например, детали и сборочные единицы, предназначенные для монтажа, ремонта, и эксплуатации ЭВМ по месту установки.

**Комплект** – два или более изделий, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера.

**Специфицированные изделия** – сборочные единицы, комплексы, комплекты, имеющие в своем составе две или более составные части.

## 5.2. Этапы разработки ЭВМ и систем

Государственные стандарты устанавливают следующие этапы разработки конструкторской документации на изделия во всех отраслях промышленности:

### 1. Разработка технического задания (ТЗ).

С помощью ТЗ устанавливается основное назначение, тактико-технические характеристики, показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемому изделию.

### 2. Разработка технического предложения (ТП).

Техническое предложение включает в себя совокупность конструкторских документов, содержащих техническое и технико-экономическое обоснование целесообразности разработки изделия на

основании анализа технического задания заказчика и различных вариантов возможной реализации изделия.

С помощью технического предложения осуществляется сравнительная оценка решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующих изделий, а также патентных материалов.

3. Эскизный проект – совокупность конструкторских документов, содержащих принципиальные конструктивные решения, дающие общее представление об устройстве и принципе действия изделия, а также данные, определяющие назначение и основные параметры разрабатываемого изделия.

4. Технический проект.

Представляет собой совокупность конструкторских документов, содержащих окончательные технические решения, дающие полное представление об устройстве разрабатываемого изделия и исходные данные для разработки рабочей документации.

5. Разработка технической документации – это разработка конструкторских документов, предназначенных для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии) изделия.

**Разработка нового изделия состоит из двух этапов:**

**1 этап – это научно-исследовательская разработка (НИР).**

Производится аналитическое исследование разработки, а также предварительные расчеты изделия. Заключительной работой НИР считается научно-технический отчет. Он содержит выводы о новых принципах построения изделия, дает научно-обоснованный подход к реализации этих принципов, анализирует проведенные исследования.

При проведении НИР мы можем получить как положительный, так и отрицательный результаты. Если отрицательный результат возможен или получен, то напрашиваются следующие выводы: либо НИР проводится недостаточно грамотно, либо в настоящее время развитие современной науки и техники не дают полной реализации поставленной задачи.

**2 этап – опытно-конструкторская разработка (ОКР).**

ОКР строится на результатах НИР и является воплощением теоретических результатов в практические, т.е. разрабатывается электрическая схема и конструкция изделия.

Если сравнивается НИР и ОКР, то можно сказать, что при разработке ОКР на первый план выступают экономические задачи, т.к. именно на этом этапе конкретизируется элементная база, на которой будет построено изделие, и, также формируются основные параметры изделия, влияющие как на его стоимость, так и на длительность и стоимость его разработки.

Во время разработки ОКР производится теоретическое, расчетное и экспериментальное исследование реализованных в изделии идей.

**ОКР** заканчивается выпуском полного комплекта технической документации на изделие, изготовлением и испытанием его опытного образца (или опытной партии).

**НИР** включает в себя стадии разработки технического задания и технического предложения, а ОКР – эскизное и техническое проектирование, а также стадию разработки технической и рабочей документации.

В зависимости от степени проработанности НИР и степени новизны разрабатываемого изделия, стадия эскизного проектирования в ОКР может быть опущена.

В соответствии со всем вышеизложенным, можно определить этапы разработки ЭВМ и представить их в виде следующей блок-схемы, рис.16.

#### **Этап 1: подготовительный.**

На этом этапе производится изучение задач, для решения которых предназначена разрабатываемая машина, анализируются новые методы в науке и технике и новые принципы построения ЭВМ. Этот анализ позволяет ориентировочно определить технические характеристики будущей машины.

#### **Этап 2: разработка ТЗ.**

Разработка ТЗ включает в себя: обоснование назначения изделия, технические и тактико-технические характеристики (это быстродействие, разрядность, объем памяти и т.д.), показатели качества и технико-экономические требования, предъявляемые к разрабатываемой ЭВМ. Если необходимо, то и выполнение необходимых стадий разработки конструкторской документации и её состава.

В ТЗ указывают предприятие-заказчик и предприятие-разработчик ЭВМ. Между ними составляется договор, который является юридическим документом, определяющим взаимоотношения и взаимные обязательства на различных этапах разработки. Договор определяет взаимную ответственность сторон в случае нарушения отдельных его пунктов. Кроме ТЗ к договору прикладывают сметную калькуляцию работ, в которой общая сумма расходов разбивается по статьям: сырье и основные материалы; покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты; зарплата работникам НИИ и рабочим опытного производства, отчисления и капитальные вложения; финансирование сторонних рабочих и организаций.

Также в договоре указываются сроки и объем выполнения каждого из этапов работ, за которые предприятие-разработчик отчитывается перед предприятием-заказчиком. Все спорные вопросы, возника-

ющие между ними, разрешаются Государственной арбитражной комиссией.

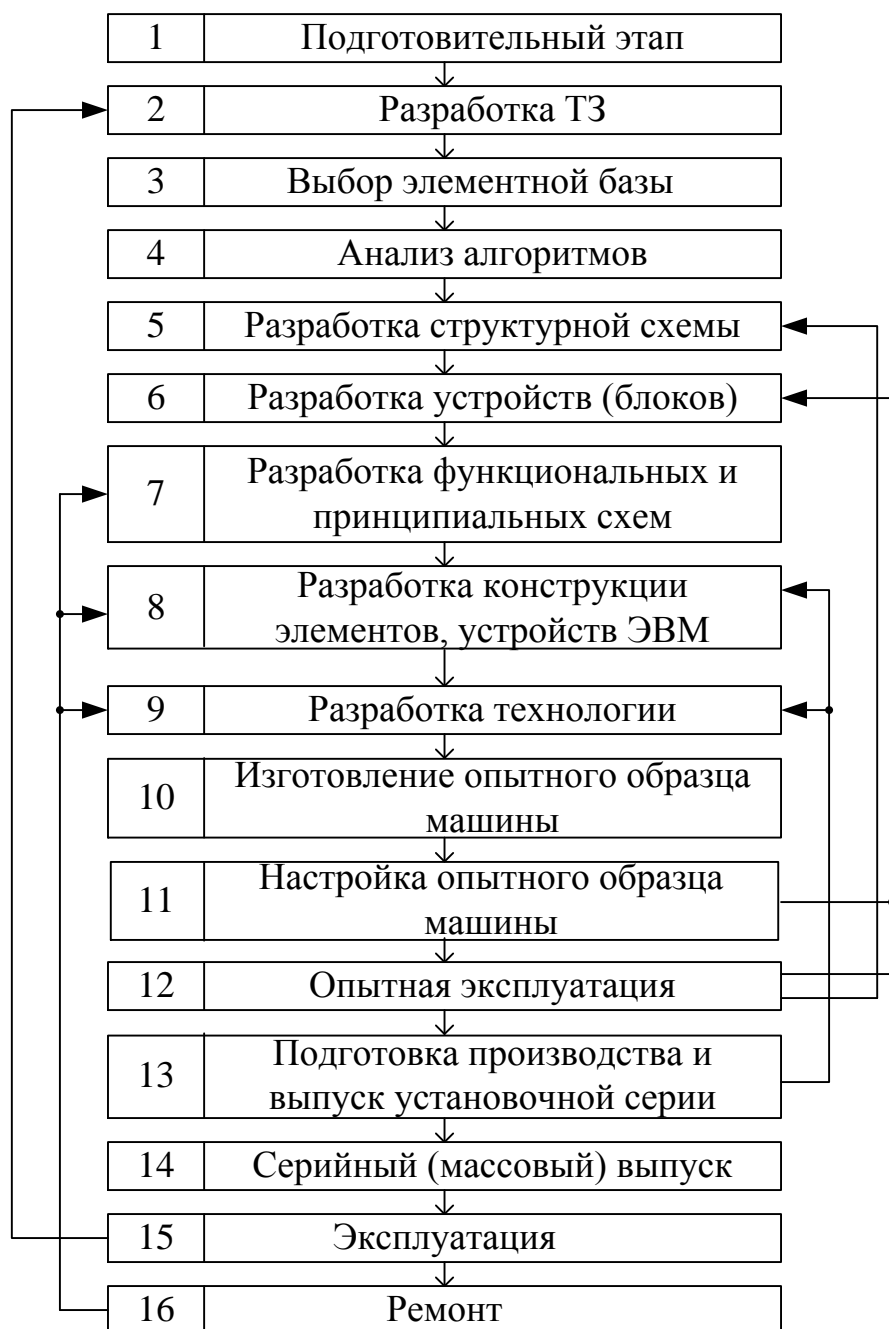


Рис.16. Блок-схема этапов разработки ЭВМ

Составление ТЗ ведется заказчиком совместно с разработчиком-исполнителем для того, чтобы требования, предъявляемые к изделию или к ЭВМ, зафиксированные в ТЗ, являлись практически выполняемыми.

Согласование ТЗ начинается после того, как определен конкретный исполнитель. В процессе согласования исполнитель должен проанализировать возможность его реализации как с технической точки зрения, так и в указанные заказчиком сроки.

Утверждение ТЗ происходит после его согласования. При утверждении, ТЗ подписывается руководителями заказчика и разработчика. После подписания, ТЗ становится официальным документом.

#### **Этап 3-4: техническое предложение.**

На этих этапах разрабатывается совокупность конструкторских документов, в которых отображаются различные варианты конструктивного и схемного построения разрабатываемой ЭВМ. Эти варианты сравниваются между собой и с зарубежными и отечественными аналогами. На третьем этапе производится выбор основных комплектующих изделий. Сюда относится выбор элементной базы, носителя информации, оперативной и внешней памяти и т.д.

Большое внимание на стадии технического предложения уделяют анализу алгоритмов, определяющих логическую структуру ЭВМ, последовательность выполнения логических и арифметических операций.

Основное в техническом предложении – это построение общей структурной схемы ЭВМ, из которой должна проясниться картина взаимодействия всех основных узлов и блоков ЭВМ. Здесь выбирается тип устройства управления (микропрограммное или схемное, тип арифметического устройства, тип ЗУ и т.д.). Всем конструкторским документам, выпускаемым на стадии технического предложения, присваивается литера «П».

#### **Этап 5-7: эскизное проектирование.**

На этом этапе конкретизируются принципиальные конструктивные и технические решения, которые отличаются от технического предложения более детальной проработкой устройств в соответствии с ТЗ.

На стадии эскизного проектирования проводятся испытания разработанных схем, расчёт и проверка рабочих режимов комплектующих элементов, выполняется расчёт надежности отдельных блоков и узлов ЭВМ. На этом этапе производится монтирование отдельных наиболее сложных узлов и блоков ЭВМ. Всем конструкторским документам на этой стадии присваивается знак литеры «Э». По завершении этого этапа разработчик перед заказчиком защищает эскизный проект. Если ЭВМ является модернизацией старой машины, то допускается опустить этап эскизного проектирования и сразу переходят к техническому проекту.

#### **Этап 8-9: техническое проектирование.**

На этих этапах детально отрабатываются схемы и конструкция ЭВМ, изготавливаются чертежи на все элементы, узлы и блоки устройства. Выдвигаются требования защиты устройства от механических, климатических и радиационных воздействий. Отрабатывается доступ при ремонте и контроле ко всем узлам и блокам устройства. Отрабатывается технология, включающая в рассмотрение вопрос об особенностях предприятия-изготовителя. Решается вопрос стоимости. Если разрабатываемая машина строится на основе БИС, то на стадии технического проектирования должно быть произведено разбиение всей принципиальной схемы машины на отдельные подсхемы, каждая из которых может реализовываться в виде БИС.

В процессе выполнения технического проектирования каждый узел машины должен быть отмакетирован.

Итог технического проекта – макет всей машины или образец, который должен пройти испытания. Основной конструкторской документации присваивается литера «Т».

К конструкторской документации относятся: сборочные чертежи всех устройств, пояснительная записка, полный комплект электрических схем, инструкции по эксплуатации.

В отчете приводятся все основные механические и электрические схемы и расчеты, результаты исследований и испытаний. По результатам технического проектирования проводят корректировку ТЗ.

#### **Этап 10-12: изготовление, настройка и эксплуатация опытного образца.**

При получении положительного решения по результатам технического проекта необходимо разрабатывать рабочую документацию, производя корректировку электрических схем и чертежей. Конструкторской документации присваивается литера «О».

В процессе изготовления ЭВМ проводятся приемо-сдаточные испытания отдельных узлов и блоков, а после изготовления – приемо-сдаточные испытания опытного образца по электрическим, техническим, климатическим и другим требованиям. Испытания проводятся представителями ОТК (отдела технического контроля) и представителями заказчика в соответствии с ТУ (техническими условиями). ТУ обязательно входят в состав конструкторской документации (КД), передаваемой на завод-изготовитель. По результатам опытной эксплуатации и государственных испытаний проводится окончательная корректировка КД.

#### **Этап 13-14: выпуск установочной серии.**

Откорректированная техническая документация (ТД) с literой «О<sub>1</sub>» передается предприятием-разработчиком предприятию-изготовителю для выпуска установочной серии ЭВМ и запуска в серийное (массовое) производство.

Взаимоотношения между разработчиком и заводом-изготовителем регламентируются договором, который заключается на период освоения ЭВМ в серийном производстве. Разработчик передает заводу-изготовителю несколько копий КД и ТД, обучает представителей завода процессам наладки и изготовления.

После выпуска и испытания установочной партии ЭВМ, разработчик передает все оригиналы ТД заводу-изготовителю, который при необходимости ее перевыпускает и присваивает литеру «А».

По окончательно отработанной документации производится массовый (серийный) выпуск ЭВМ.

#### **Этап 15-16: этапы эксплуатации и ремонта.**

При производстве серии образцов ЭВМ, очень часто возникает необходимость корректировки функциональных, принципиальных и других схем КД и ТД или же ТЗ. Эти изменения вносятся в установленном порядке и, по откорректированной документации производится изготовление опытного образца и его испытание в полном объеме. В случае положительного результата корректируется документация на заводе-изготовителе.

Из обзора всех этапов ясно, что по первичной рабочей документации нельзя запускать изготовленное изделие в серийное производство, так как она содержит какие-то ошибки и, зачастую, очень серьезные. Например, неправильный расчёт временной диаграммы для какой-то операции, или ошибка в принципиальной электрической схеме, или в элементах конструкции. Эти ошибки, как правило, приводят к дополнительным затратам и к увеличению срока изготовления изделия. Уменьшение такого рода ошибок достигается использованием автоматизированных с помощью ЭВМ методов разработки и обработки технической документации.

### **5.3. Конструкторская документация**

Государственные стандарты устанавливают виды и комплектность конструкторских документов на изделия всех отраслей промышленности.

**Конструкторские документы (КД)** – документы, в отдельности или в совокупности определяющие состав и устройство изделия и содержащие необходимые данные для его разработки и изготовления, контроля, приёмки, эксплуатации и ремонта.

По форме представления КД разделяют на: **графические** и **текстовые**.

**Графические конструкторские документы** – это документы, в которых с помощью установленных стандартом символов и правил



поясняются устройство, принцип его действия, состав и связи между отдельными частями изделия. К ним относятся:

- **чертеж детали** – изображение детали и данные, необходимые для ее изготовления и контроля;
- **сборочный чертеж** – изображение изделия и данные, необходимые для его сборки (изготовления) и контроля;
- **чертёж общего вида** – изображение конструкции изделия, дающее представление о взаимодействии его основных частей и принципе работы;
- **теоретический чертеж** – геометрическая форма изделия и координаты его основных частей;
- **габаритный чертеж** – контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами;
- **монтажный чертеж** – контурное (упрощенное) изображение изделия, содержащее данные для его установки (монтажа);
- **схема** – условное изображение или обозначение составных частей изделия и связей между ними;
- **спецификация** – состав сборочной единицы, комплекса или комплекта.

**Текстовые конструкторские документы** – это документы, содержащие описание устройства, принципа действия и эксплуатационных показателей изделия. К ним относят:

- **ведомость спецификаций** – перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и входимости;
- **ведомость ссылочных документов** – перечень ссылочных документов, на которые имеются ссылки в КД изделия;
- **ведомость покупных изделий** – перечень покупных изделий, применяемых в составе разрабатываемого изделия;
- **ведомость согласования применения изделий** – подтверждение согласования с соответствующими организациями применения определенных покупных изделий в разрабатываемом изделии;
- **ведомость держателей подлинников** – перечень предприятий, на которых хранятся подлинники документов, разработанных на данное изделие;
- **ведомость технического предложения** (эскизного, технического проекта) – перечень документов, вошедших в техническое предложение (эскизный, технический проект);
- **пояснительную записку** – описание устройства и принципа действия разработанного изделия, обоснование принятых при его разработке технико-экономических решений;
- **технические условия** – потребительские (эксплуатационные) показатели изделия и методы контроля его качества;

- **программу и методику испытаний** – технические данные, подлежащие проверке при испытании изделия, а также порядок и методы их контроля;

- **расчёт** – расчёты параметров и величин, например, расчёт размерных цепей электрических режимов и т.п.

По способу выполнения и характеру использования КД делят на:

- **оригиналы** – документы, выполненные на любом материале и предназначенные для изготовления по ним подлинников;

- **подлинники** – документы, оформленные подлинными подписями и выполненные на любом материале, позволяющем многократное воспроизведение с них копий;

- **дубликаты** – документы, идентичные подлиннику и выполненные на любом материале, позволяющем снятие с них копий;

- **копии** – документы, выполненные способом, обеспечивающим их идентичность с подлинником (дубликатом), и предназначенные для непосредственного использования при разработке, изготовлении, ремонте и эксплуатации изделий;

- **проектные КД** – КД, выполненные на этапах технического предложения, эскизного и технического проектов;

- **рабочие КД** – КД, выполненные на этапе выпуска рабочей документации.

Особенности ЭВМ - как отдельного самостоятельного класса продукции привело к созданию некоторых специфических документов: схем алгоритмов, временных диаграмм, микропрограммной логики, таблиц сигналов, идентификаторов сигналов, проверки параметров.

КД – на программное обеспечение – это особая группа документов. Правила составления программной документации устанавливаются ЕСПД.

Внедрение автоматизированных методов проектирования средств ВТ не изменяет комплект конструкторской документации.

#### **5.4. Общие требования к выполнению конструкторских графических документов**

Основными требованиями, которые предъявляются к выполнению графической документации, являются требования, установленные стандартами ЕСКД.

Эти требования обычно предъявляются к выбору формата чертежей и масштабов изображения, к правилам простановки размеров и введению обозначений, к построению спецификаций.

Основными форматами для КД при выполнении графических работ являются следующие: А4(297\*210), А3(297\*420), А2(594\*420), А1(594\*841), А0(1189\*841).

В графических КД также определены масштабы уменьшения: 1:2; 1:2.5; 1:4; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:200; 1:400; 1:500; 1:800; 1:1000 и масштабы увеличения: 2:1; 2.5:1; 5:1; 10:1; 20:1; 40:1; 50:1; 100:1.

Размеры и предельные отклонения на конструкторские чертежи наносятся по следующим правилам:

- 1) общее число размеров должно быть минимальным, но достаточным для изготовления изделия;
- 2) размеры, не обеспечиваемые при изготовлении изделия по данному чертежу и указанные для удобства пользования, называют справочными и отмечают следующим значком - «\*» с помещением записи «Размер для справок»;
- 3) при обозначении размеров избегают использования простых дробей за исключением размеров в дюймах;
- 4) повторение размеров одного и того же элемента изделия на разных видах не допускается;
- 5) когда указывается радиус, перед размерным числом помещают прописную букву R, при указании диаметра – Ø;
- 6) предельное отклонение размеров указывают непосредственно после номинальных значений.

## **5.5. Общие требования, предъявляемые к выполнению текстовых документов**

ЕСКД устанавливают основные требования к выполнению текстовых документов (ТД). Эти требования относятся к способам выполнения и правилам построения ТД, к правилам оформления таблиц, иллюстраций, приложений. ТД выполняются на установленных стандартом формах машинописным, рукописным или типографским способами. Делать различные надписи, вносить формулы и т.д. необходимо черной тушью. Для ТД обычно составляются титульные листы, где обязательно предусматриваются места для размещения подписей согласующих организаций.

Содержание ТД разбивают на разделы и подразделы, при большом объеме - на части или главы. Разделы обычно нумеруются по порядку и обозначаются арабскими цифрами в пределах всего докумен-

та. Подразделы в пределах каждого раздела должны иметь составные номера, первая часть которых означает номер раздела, а вторая, отделенная от первой, точкой, номер подраздела. В пределах подраздела допускается разбивать текст на пункты и подпункты. Номер пункта состоит из номера раздела, плюс номер подраздела и пункта, разделенных точками.

При разработке больших текстовых документов обычно создается содержание. Содержание рекомендуется располагать в начале, а список литературы и документации, используемой при составлении документа, в конце документа. При использовании специфической терминологии обычно составляется перечень принятых терминов и сокращений (если такие были), с краткими пояснениями. Сокращение слов в тексте и под иллюстрациями, не допускается.

### **Технические условия (ТУ)**

Обычно ТУ выпускают на изделия, на которые отсутствуют стандарты или когда повышаются требования, не предусмотренные стандартами.

ТУ должны содержать все требования к изделию, его изготовлению, комплектности, контролю, приемке и поставке. ТУ разрабатывают на одно изделие (материал, вещество), или на несколько изделий. Обычно оно содержит вводную часть и следующие разделы:

1) **технические требования** – раздел, который включает в себя тактико-технические характеристики изделия, электрические и конструктивные параметры, допустимые условия эксплуатации, требования по надёжности (вероятность безотказной работы, наработка на отказ, сохраняемость и т.д.);

2) **правила приемки** – раздел, определяющий объем приемосдаточных, периодических и проверочных испытаний и количество изделий, подвергаемых этим испытаниям (приемосдаточным испытаниям подвергаются 100% изделий). Количество изделий, подвергаемое периодическим и приемосдаточным испытаниям, а также периодичность их проведения, устанавливаются в ТУ;

3) **методы контроля** - испытаний, анализа, измерений. Данный раздел включает в себя подробное описание контроля испытаний, анализа, измерений, необходимых для подтверждения электрических, конструктивных, эксплуатационных и надёжностных характеристик изделий;

4) **транспортирование и хранение** – раздел, в котором указываются допустимые условия транспортирования и хранения (вибрация, влажность, удары, температурный диапазон и т.д.), при которых сохраняется работоспособность изделия;

5) **указания по эксплуатации** – раздел, в котором оговариваются все правила и особенности эксплуатации, диктуемые специфичностью изделия и каждого из его элементов. К этим указаниям относятся способ закрепления при эксплуатации, рабочее место обслуживающего персонала, обеспечивающего его безопасность и т.д.;

6) **гарантии поставщика** – раздел, где указывают срок годности изделия при хранении в упакованном виде в составе запасных частей, гарантийный срок работы и т. д.

ТУ необходимо выполнять, руководствуясь требованиями ГОСТа.

### **Патентный формуляр (ПФ)**

Он обычно предназначен для оценки патентоспособности, патентной чистоты и технического уровня изделий, материалов, технологических процессов, методов измерений и испытаний, стандартов всех категорий.

## **5.6. Эксплуатационная конструкторская документация**

Обычно на монтаж, техническое обслуживание любого изделия составляется эксплуатационная документация. Она может быть составлена при наличии сведений о составе устройства, технических параметрах его и специальных указаний по эксплуатации. Эта документация обычно рассчитана на персонал, прошедший специальную подготовку по техническому обслуживанию и использованию данного класса изделий.

В комплект эксплуатационной документации входят следующие документы:

- **техническое описание** – предназначено для изучения изделия. Содержит описание всего устройства, принципы действия, технические характеристики;
- **инструкция по эксплуатации** – содержит сведения по правильной эксплуатации изделия и поддержанию его в постоянной готовности к работе. В этом документе указывают: работы и операции, проводимые с изделием; способы проведения работ и их последовательность, необходимые приборы, принадлежности, инструменты и специальное оборудование;
- **инструкция по техническому обслуживанию** – здесь указывается порядок и правила технического обслуживания изделия при различных условиях эксплуатации;
- **инструкция по монтажу, пуску, регулированию изделия** – содержит сведения для технически правильного проведения монтажа,

пуска, регулировки изделий, монтаж которых производится непосредственно на месте эксплуатации;

- **формуляр** – документ, удостоверяющий основные параметры и технические характеристики изделия в процессе эксплуатации (длительность и условия работы, техническое обслуживание, виды ремонта и другие данные);

- **паспорт** – документ, удостоверяющий гарантированные предприятием-изготовителем технические характеристики изделия;

- **этикетка** – предназначена для краткого изложения основных технических показателей изделия и сведений, требующихся для его эксплуатации.

## **5.7. Схемная документация**

### **5.7.1. Виды и типы схем**

По виду и типу элементов, входящих в схемы, по типу соединений между ними, схемы подразделяются на следующие виды и типы.

#### **Виды:**

- электрическая - Э
- гидравлическая - Г
- пневматическая - П
- кинематическая - К
- оптическая - О
- комбинированная - С

#### **Типы:**

- структурная - 1
- функциональная - 2
- принципиальная - 3
- соединений (монтажная) - 4
- подключений - 5
- общая - 6
- расположения - 7
- прочие - 8
- совмещения - 9.

**1. Структурная схема** – даёт представление об основном составе изделия и его функциональных частях, определяет их взаимосвязи. Она создаётся в начале проектирования и используется как для построения, так и для общего знакомства с изделием.

**2. Функциональная схема** – даёт представление о функционировании изделия и всех его составных узлов. Обычно функциональ-

ные схемы используются для построения принципиальных схем, изучения принципа работы изделия и при эксплуатации схем.

**3. Принципиальная схема** – дает представление о полном составе схемы и комплексе элементов, показывая связи между ними. На основе принципиальной схемы разрабатывают монтажные схемы соединений, чертежи конструктивных элементов и узлов, различных устройств.

**4. Схема соединений** – дает представление о составных частях изделия, определяет провода, жгуты, кабели и другие соединительные изделия. Также показывает места их присоединения и ввода. Схемы соединений используют при разработке конструкторских, графических и текстовых документов. Они очень полезны при ремонте и эксплуатации изделий.

**5. Схемы подключений** – показывают внешние подключения изделий. Эти схемы используют при монтаже изделий на месте эксплуатации, а также при их ремонте.

**6. Общие схемы** – определяют составные части комплекса и соединения между ними.

**7. Схемы расположения** – устанавливают взаимное расположение отдельных составных частей комплекса или изделия, расположение жгутов, проводов, кабелей.

При проектировании схем следует придерживаться всех стандартов ЕСКД. В них устанавливаются условные графические обозначения и т.д. При проектировании ЭВМ используются в основном электрические схемы.

### ***5.7.2. Условные графические обозначения двоичных логических элементов***

На основе условного графического обозначения двоичных элементов можно рассмотреть графическое обозначение всех микросхем. Двоичные логические элементы должны иметь форму прямоугольника. В прямоугольнике обычно прописываются или прорисовываются основное и два дополнительных поля. Они могут быть представлены в виде, рис. 17:

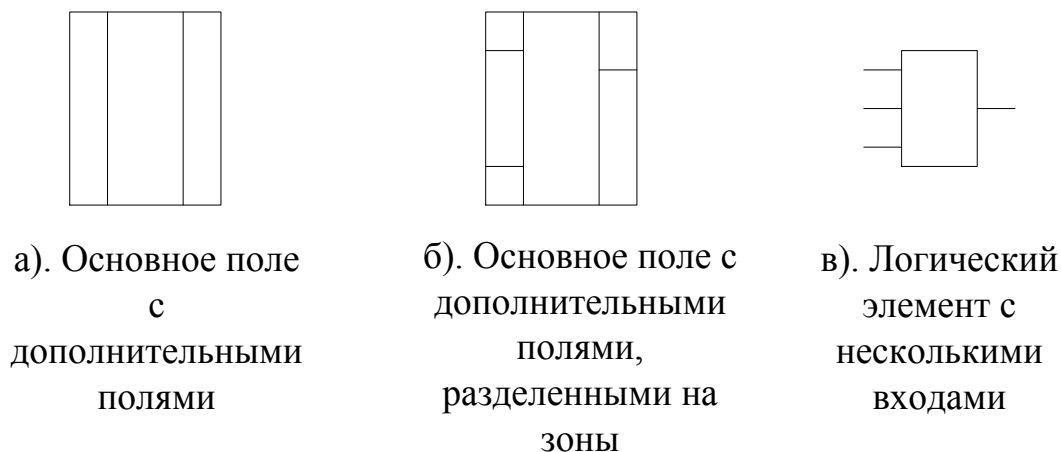


Рис.17. Условные графические обозначения двоичных элементов (а, б, в).

Обычно на основном поле обозначается информация о функции, выполняемой данным элементом. В дополнительных полях размещают условные обозначения входов и выходов (метки). Входы расположены обычно с левой стороны, выходы – с правой.

Все размеры условного графического обозначения логического элемента по высоте должны быть кратны постоянной величине. Значение этой постоянной - не менее 5мм для схем, выполняемых вручную, для схем, выполняемых автоматически – 4 мм.

Минимальная высота основного поля –  $10 \div 12$  мм, ширина –  $8 \div 12$  мм,  $12 \div 17$  мм (в зависимости от числа помещаемых на них знаков). Ширина дополнительного поля – не менее 5 мм. Дополнительные поля можно разделять на зоны.

Для обозначения функции или системы функций, выполняемых данным логическим элементом, используют специальные символы, установленные ГОСТом. Символ функции располагается внутри основного поля, обычно в верхней его части. Ниже, в таблице 13, приведены символы основных логических операций.

Если какие-нибудь обозначения функций не входят в указанную таблицу, то следует придерживаться следующих правил:

- символ функции должен отражать основное назначение логического элемента;
- в качестве символа должен использоваться знак (буква латинского или русского алфавита, геометрическая фигура или специальный знак) или группа знаков, записываемых без пробелов;
- количество знаков в символе функции не должно ограничиваться.



Таблица №13

Логическая операция	Символ функции	Логическая операция	Символ функции
ИЛИ	1	Регистр со сдвигом в сторону младших разрядов	RG→
И	&, И	Регистр со сдвигом в сторону старших разрядов	RG←
Сложение по модулю 2	M2	Регистр с реверсивным сдвигом	RG↔
Эквивалентность	=	Счетчики:	GT
Исключающее ИЛИ	=1	Двоичный	GT2
Мажоритарность	≥M	десятичный	GT10
Дешифратор	DC	Задержка	⌊—⌋
Шифратор	CD	Генератор	G
Сравнение	= =	Одновибратор	S
Сумматор	SM	Пороговый элемент (триггер Шмидта)	⌊⌊
Кодовый преобразователь	X/Y	Усилитель	▷
Триггер	T	Усилитель мощности	▷▷
Триггер двухступенчатый	TT	Формирователь сигнала	F
Регистр	RG		

Например, БИС центрального процессорного элемента в микропроцессорном комплексе серии К589 имеет обозначение CPU, а однокристальный микропроцессор К1801 имеет обозначение PRC.

Пример представления в электрических принципиальных схемах микросхем микропроцессорного набора К589ИКО2 представлен на рис. 18.

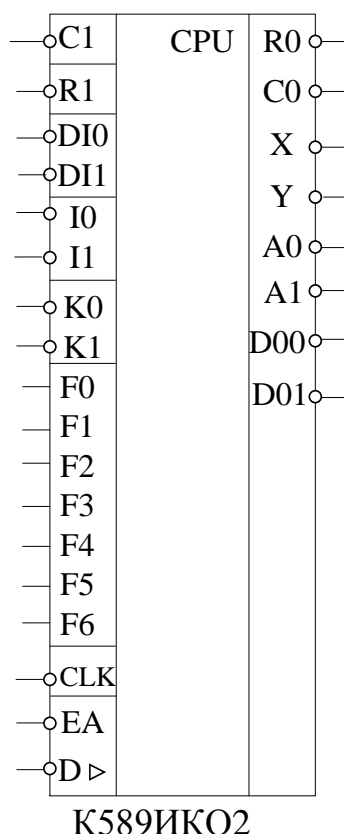


Рис.18. Микропроцессор К589ИКО2

**По состоянию сигнала**, при поступлении которого элемент воспринимает или вырабатывает определенное значение двоичной переменной, входы и выходы логического элемента разделяют на **прямые** и **инверсные**, рис.19.

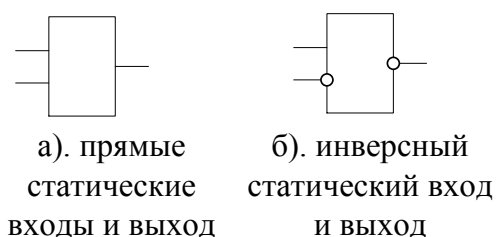


Рис. 19. Прямые (а) и инверсные (б) статические входы и выходы

По способу обработки двоичного сигнала входы и выходы логического элемента подразделяют на **статические** и **динамические**, рис.20.

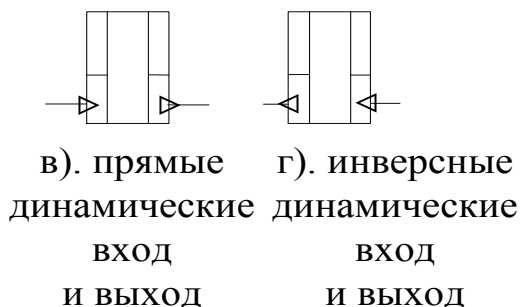


Рис.20. Динамические прямые (а) и инверсные (б) входы и выходы.

Входы и выходы логических элементов могут не нести логической нагрузки. В этом случае их обозначают значком «\*». Этим же значком обозначают выводы, подключенные к внутренней нагрузке, соединяемые перемычками, и выводы микросхем, к которым подключают внешний электрорадиоэлемент.

Некоторые входы логических элементов могут иметь метки (отдельные, групповые) или не иметь таковых. Входы и выходы логических элементов не имеют меток в случае, когда все входы равноценны.

### 5.7.3. Правила выполнения электрических схем

На схеме **электрической структурной (Э1)** показывают ЭВМ и основные взаимосвязи между ними. Функциональные части можно изобразить условно графически, как указано в ГОСТе или в виде прямоугольников. В последнем случае приводят наименование данной функциональной части. Линии взаимосвязи обычно обозначаются стрелками, показывающими направление хода процесса, движение информации.

При большом числе функциональных частей рекомендуется вместо обозначений, наименований и типов, вводить порядковые номера, проставляя их слева направо и сверху вниз.

В этом случае расшифровку номеров производят в таблице, помещаемой под основной надписью.

На схеме **электрической функциональной (Э2)** показывают функциональные части машины, участвующие в процессе, и связи между этими частями. Функциональные части изображают в виде условных графических обозначений, также допускается и изображение прямоугольниками.

**Схема электрическая принципиальная (ЭЗ).** При выполнении этой схемы указываются все элементы, из которых состоит будущее изделие или ЭВМ, или изображается какой-то узел ЭВМ. На этой схеме указываются все связи между элементами и разъемы, которыми заканчиваются входные и выходные цепи.

Все элементы в схеме изображаются в виде условных графических обозначений. Расстояние между двумя соседними линиями условных графических обозначений должно быть не менее 0,8 мм.

Условные графические обозначения на схеме ЭЗ располагают так, чтобы изображение связей между ними были кратчайшими линиями с минимальным числом пересечений.

Линии связи обычно показывают полностью, но в случае необходимости обрывают, заканчивая места обрыва стрелками с обозначением места включения. Для того, чтобы не было нагромождений в схеме можно несколько электрически не связанных линий сливать в общий жгут, причём линии связи необходимо нумеровать одинаковыми числами на обоих концах.

Каждый элемент имеет буквенно-цифровое позиционное обозначение, составленное из буквенного индекса и порядкового номера. Порядковые номера элементам присваивают, начиная с единицы сверху вниз в направлении слева направо, в пределах группы элементов, которым дан одинаковый буквенный индекс.

Если элемент состоит из нескольких частей, то допускается к его позиционному обозначению добавлять цифры, присваиваемые каждой части элемента: Э1-1; Э1-2; Э1-3.

Данные обо всех элементах записываются в перечень элементов. Связь перечня элементов с условными графическими обозначениями осуществляется через позиционное обозначение. Если на схеме существуют элементы, параметры которых должны уточняться при регулировке, то на схеме их обозначают следующим образом:  $R_1^*$ , а на поле размещают сноску – «Подбирают при регулировке». Выводы микросхем для каждого типа корпуса имеют свою маркировку. На электрической принципиальной схеме эти маркировки указываются.

## Список литературы

1. К.И. Билибин, А.И. Власов, В.А. Шахнов, В.В. Шерстнёв. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры. – М.: Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2002.
2. Алексеев В.Г. и др. Технология ЭВА, оборудование и автоматизация. – М.: Высшая школа, 1984.
3. Львович Я.Е., Фролов В.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надёжности РЭА. – М.: Радио и связь, 1986.
4. Преснухин Л.Н., Шахнов В.А. Конструирование электронных вычислительных машин и систем. – М.: Высшая школа, 1986.

**Тимошевская Ольга Юрьевна**

# **КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭВМ**

Учебное пособие

Технический редактор Тимошевская О.Ю.  
Компьютерная верстка Тимошевская О.Ю.

---

Формат 60×90/16. Гарнитура Times New Roman. Усл. п.л. 6,4  
Тираж 150 экз. Заказ №

Адрес издательства:  
Россия, 180680, Псков, ул. Л.Толстого,4.  
Издательско-полиграфический центр ППИ.