

Факторы, влияющие на надежность радиоэлектронных средств

- **Температура.** Различают воздействие повышенной, пониженной и температуры циклического изменения.

значения температуры воздуха (газа) при эксплуатации изделий и установленные ГОСТ 16962–71 степени жесткости:

Таблица 4.1

Температура, °C	40	45	50	55	60	70	85	100	125	155
Степень жесткости	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Таблица 4.2

Температура, °C	+1	-5	-10	-25	-30	-40	-45	-60	-85
Степень жесткости	1	2	3	4	5	6	7	8	9

При транспортировании и хранении РЭС для верхних значений температур устанавливают следующие степени жесткости: при +50 °C – 1-я степень, при +60 °C – 2-я степень; а для нижних значений: при -50 °C – 1-я степень, при -60 °C – 2-я степень, при -85 °C – 3-я степень.

Влияние температуры на ЭРЭ

Воздействие температуры приводит к изменению физико-химических и механических свойств материалов электроэлементов, что вызывает отклонение параметров РЭС и как внезапные, так и постепенные отказы [45].

С ростом температуры:

- увеличивается удельное сопротивление металлов. Углеродистые резисторы при повышении температуры уменьшают свое сопротивление, а композиционные резисторы увеличивают.
- У диэлектриков уменьшается сопротивление и пробивное напряжение, возрастает $\text{tg}\delta$ и уменьшается диэлектрическая проницаемость.
- Полупроводники значительно увеличивают свою проводимость.
- У конденсаторов растет $\text{tg}\delta$, уменьшается пробивное напряжение, изменяется величина емкости. При отрицательных температурах плохо работают электролитические конденсаторы.
- Моточные изделия изменяют свою индуктивность и добротность за счет изменения магнитной проницаемости сердечника, геометрических размеров обмотки и их сопротивления.

Влияние температуры на надежность ЭРЭ

При повышении температуры с 20°C до 80°C интенсивность отказов возрастает у:

- электронно-выпрямительных приборов в 1,5 – 2 раза;
- резисторов в 2 – 3 раза;
- полупроводников в 3 – 4 раза;
- конденсаторов в 6 – 8 раз;
- микросхем в 6 – 10 раз.

- При оценке надежности необходимо учитывать, что изменения температуры РЭС происходят под воздействием как внешних, так и внутренних факторов. Уровень воздействия внешних факторов определяется объектом, на котором устанавливаются РЭС, а внутренних – схемно-конструктивными решениями.
- Воздействия температуры бывают непрерывными, периодическими и аperiodическими.
- Непрерывному воздействию температуры подвергаются как правило, стационарные РЭС; периодическому – аппаратура возимая, самолетная; аperiodическому – РЭС космической техники и некоторые другие [50].

Определения

Тепломассообмен – раздел физики, в котором рассматриваются процессы переноса тепла (энергии) и массы (вещества).

Различают три вида переноса энергии:

- **Теплопроводность** – молекулярный перенос теплоты в сплошной среде за счет разности температур.
- **Конвекция** – процесс переноса теплоты при перемещении макроскопических объемов жидкости или газа из области повышенной температуры в область с пониженной температурой. Процесс конвекции связан с переносом вещества и сопровождается теплопроводностью.
- **Тепловое излучение** – процесс переноса тепла за счет энергии электромагнитного излучения.

Определения (продолжение)

Совокупность тел с различными теплофизическими параметрами и явно выраженными границами раздела называются системой тел или неоднородным телом, а каждая часть такой системы – однородным телом. Однородные тела могут быть *изотропными* и *анизотропными*.

Температурное поле – совокупность числовых значений температур в различных точках системы в данный момент времени, характеризует количественно тепловое состояние тела.

Тепловой поток P – количество тепла, переносимое в единицу времени через какую-либо поверхность, направлен в сторону убывания температуры.

Удельный тепловой поток q – плотность теплового потока:

$$q = \frac{P}{S}.$$

где S – площадь поверхности.

Теплопроводность

Значения коэффициента теплопроводности для веществ

Вещество	λ, Вт/мК
Газы	0,05 – 0,5
Жидкости	0,07 – 0,7
Диэлектрики	0,02 – 3
Металлы	20 - 430

Теплопроводность

Значения коэффициента теплопроводности для материалов

Материал	λ , Вт/мК	Материал	λ , Вт/мК
Медь	390	Асбест	0,11
Алюминий	210	Оргстекло	0,19
Латунь	105	Слюда	0,45
Серебро	420	Резина	0,15
Железо	74	Стеклотекстолит	0,37 – 0,74
Сталь 20	50	Гетинакс	0,17
Кремний	23,3	Поликор	35

Конвекция

Коэффициент теплоотдачи конвекцией

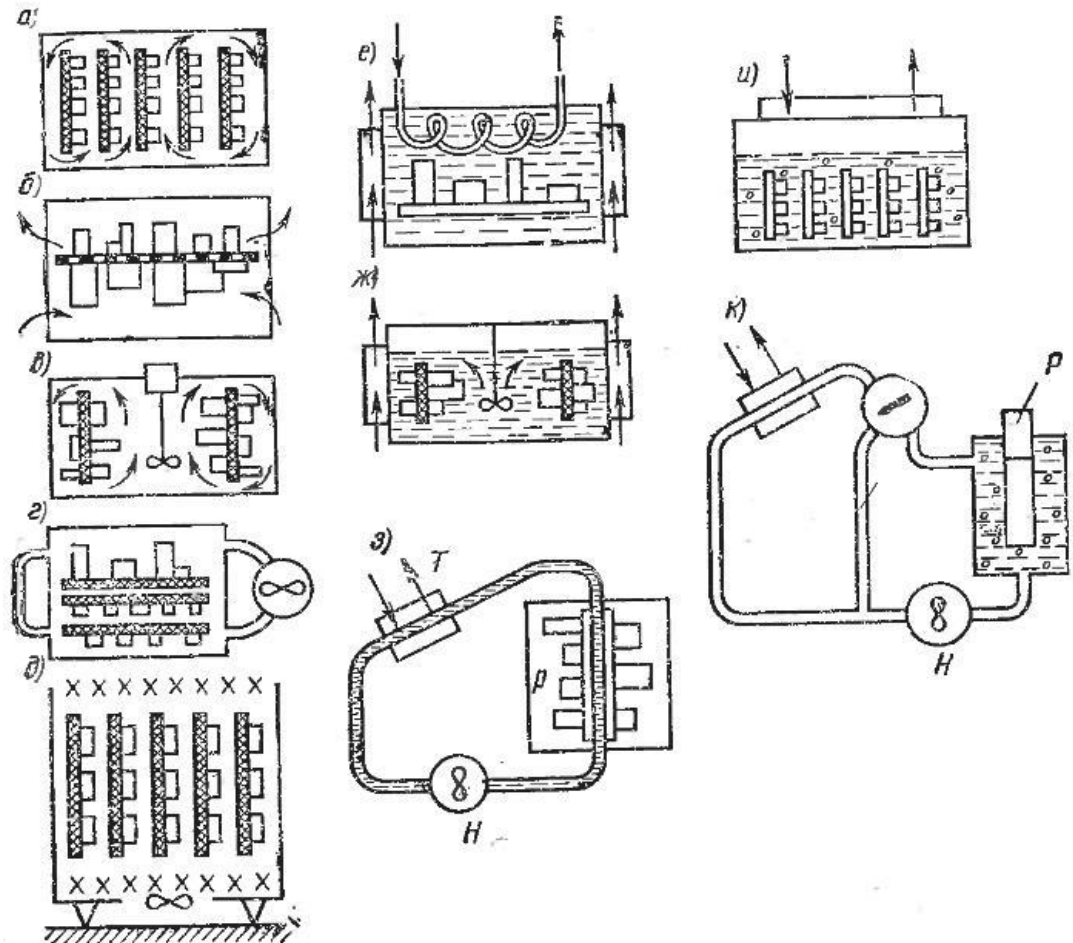
Среда	$\alpha_k, \text{Вт/м}^2\text{К}$	
	Свободная конвекция	Вынужденная конвекция
Газы	2 - 10	10 - 100
Вязкие жидкости (масла)	200 - 300	300 - 1000
Вода	200 - 600	1000 - 3000
Кипение воды	500 - 45 000	
Конденсация капель водяного пара	1000 - 100 000	
Конденсация органических паров	500 - 2000	

Системы охлаждения РЭС

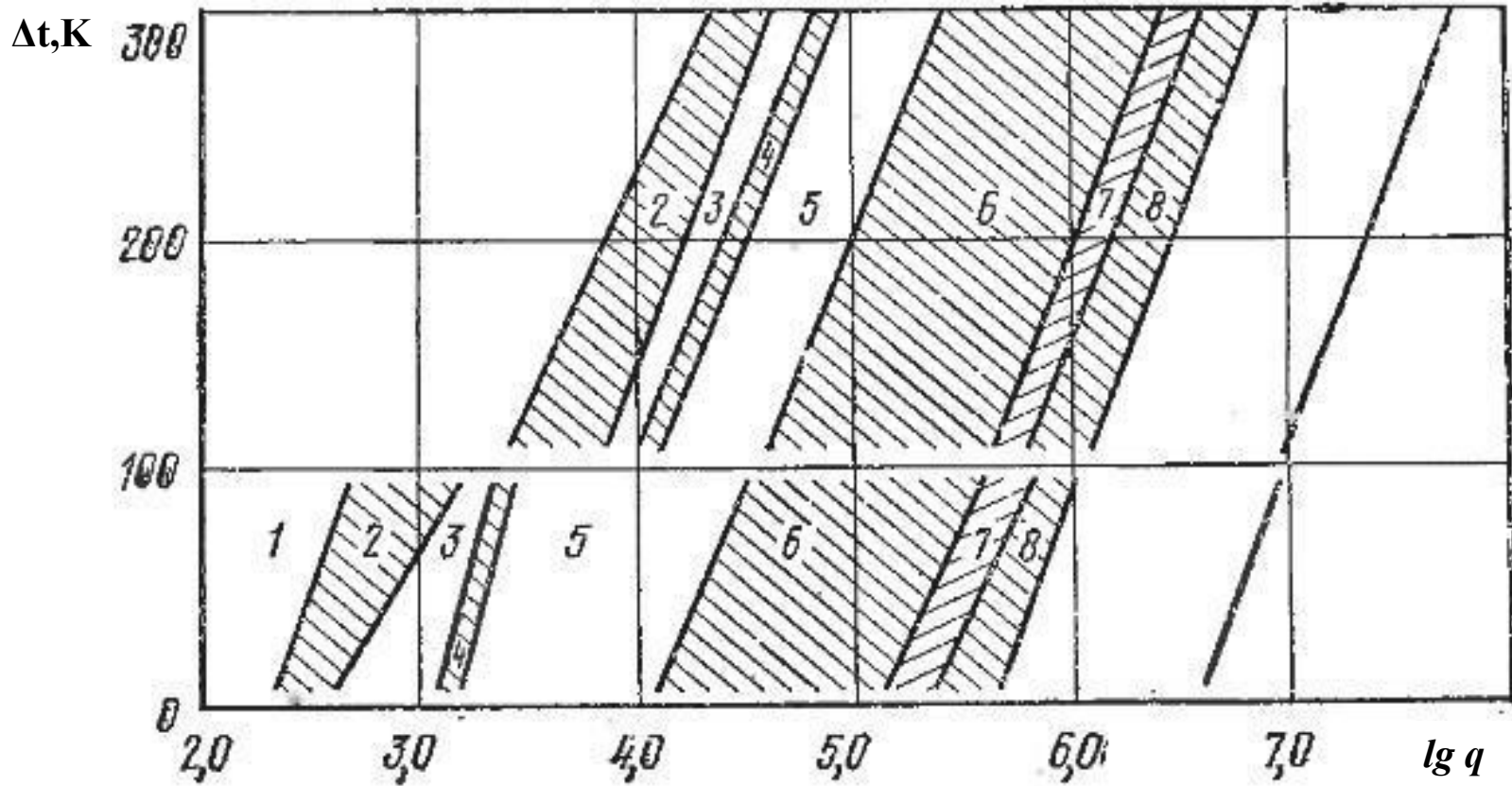
Системой охлаждения (СО) называется совокупность устройств и элементов, предназначенных для охлаждения РЭС.

Системы охлаждения подразделяются на:

- Воздушные.
- Жидкостные.
- Испарительные.
- Кондуктивные.
- Радиационные.
- Специальные.
- Комбинированные.



Выбор системы охлаждения РЭС



$$\Delta t = T_{\text{imin}} - T_c$$

$$q = P/k_p S, \text{ где } S = 2(L_1 L_2 + (L_1 + L_2)L_3 K_3).$$

Интенсивность теплопередачи различных способов охлаждения

Способ теплопередачи	Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м ² К)
Естественная конвекция и излучение	2 - 10
Принудительная конвекция в воздухе и парах	10 - 100
Естественная конвекция в масле и других жидкостях той же плотности	200 - 300
Принудительная конвекция в масле и других жидкостях той же плотности	300 - 1000
Естественная конвекция в воде	200-600
Принудительная конвекция в воде	1000 - 3000
Кипение воды	500 - 45000
Капельная конденсация водяных паров	40000 - 120000

Влажность.

В процессе производства, хранения и эксплуатации РЭС подвергаются воздействию различных факторов (влаги, пыли, грибков, агрессивных сред и т.д.).

Защита от влаги является защитой и от этих факторов.

Влага обладает:

- высокой проникающей способностью (размер молекулы воды 25 нм);
- высокой химической активностью;
- диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 81$);
- электропроводностью (при наличии ионизированных примесей).
- В ГОСТ 16962–71 приведены значения относительной влажности и соответствующие им степени жесткости.
- **Влажность воздуха рассматривают во взаимосвязи с давлением, температурой, плотностью.**

- При организации испытаний на воздействие влаги необходимо учитывать то обстоятельство, что абсолютно чистой воды в природе не бывает. Это химически активное соединение, которое легко вступает в реакции со множеством веществ. В зависимости от количества примесей различают дождевую воду, воду рек и озер, морскую и подземную.
- Наиболее чистой является дождевая вода. Например, в 1 л дождевой воды содержится 1,5 мг азотных соединений, в тумане – 4,4 мг, в снегу – 7,5 мг. В тропическом поясе в дожде и тумане больше азотных соединений, в континентальных осадках преобладают сульфаты и гидрокарбонаты, в морских – хлориды [50, 54, 55].
- Дождь оценивают интенсивностью, которая показывает, сколько миллиметров воды выпадает в одну минуту на горизонтальную поверхность. Морской дождь – 0,05 мм/мин, диаметр капель 0,4 мм; в ряде случаев интенсивность дождя достигает 1–2 мм/мин при диаметре капель до 6–8 мм.

Характеристики

Абсолютная влажность – объемная концентрация водяных паров в воздухе, г/м³.

Критическая абсолютная влажность ($C_{кр}$) -- максимально возможная абсолютная влажность, при которой происходит конденсация водяного пара, зависит от температуры воздуха и его давления. Мерой абсолютной влажности является **точка росы**. Точка росы – температура, до которой необходимо охладить воздух (газ), чтобы содержащийся в нем водяной пар достиг состояния насыщения. При этой температуре в воздухе и на предметах конденсируются водяные пары.

Относительная влажность воздуха – отношение:

$$C/C_{кр} = \varphi [\%],$$

при одной и той же температуре.

Нормальной считается $\varphi = 45-80\%$ при $t \leq 30^\circ \text{C}$.

Адсорбция – поглощение влаги поверхностью вещества.

Абсорбция – поглощение влаги объемом вещества.

Сорбция – одновременное поглощение влаги объемом и поверхностью вещества.

Десорбция – обратный процесс сорбции.

Влияние влаги на надежность РЭС

Воздействие влаги приводит к:

- параметрическим отказам;
- внезапным отказам.

Уменьшение параметрической надежности обусловлено искажением сигналов до уровня, при котором нормальное функционирование РЭС становится невозможным.

Увеличение интенсивности внезапных отказов уменьшает среднее время наработки аппаратуры на отказ и увеличивает стоимость ее эксплуатации.

Воздействие влаги на органические материалы

Органические материалы склонны к поглощению влаги через капилляры или путем диффузии и сопровождается явлениями:

- увеличением диэлектрической проницаемости ϵ ;
- увеличением потерь $\text{tg}\delta$;
- уменьшением объемного сопротивления;
- уменьшением электрической и механической прочности;
- изменением геометрических размеров вследствие набухания.

Воздействие влаги на неорганические материалы

Неорганические материалы взаимодействуют с влагой, конденсирующейся или адсорбируемой на поверхности.

Воздействие влаги на металлы сопровождается явлениями, связанными с коррозией:

- разрушение паяных и сварных швов, что нарушает герметизацию и снижает механическую прочность;
- обрыв электромонтажных связей;
- увеличение сопротивления контактных пар, что ведет к увеличению шумов неразъемных и обгоранию разъемных контактов;
- уменьшение прочности и затруднение разборки крепежа, потускнением отражающих и разрушением защитных покрытий.

Воздействие влаги на гибридные и интегральные элементы РЭС

Влияние влаги на тонкопленочные пассивные элементы приводит к электролитической или химической коррозии; образованию закорачивающих перемычек; увеличению диэлектрической проницаемости; потерь и утечек в диэлектриках.

Влияние влаги на полупроводниковые бескорпусные компоненты ИС (транзисторы, диоды, "чипы") приводит к:

1. сорбции влаги поверхностью;
2. скоплению положительных зарядов (Na^+ и др.) на границе Si-SiO_2 ;
3. образованию слоя накопления зарядов в полупроводнике под влиянием поверхностных ионов.

Воздействие влаги на дискретные элементы РЭС

- Резисторы – постепенное увеличение или уменьшение номинального значения вплоть до обрыва или короткого замыкания, увеличение уровня шумов.
- Конденсаторы – увеличение сопротивления в цепи обкладок или обрыв; рост емкости, потерь, утечек; появление коротких замыканий обкладок; уменьшение пробивного напряжения.
- Индуктивность – уменьшение добротности вследствие увеличения собственной емкости и потерь в диэлектрике.
- Контакты и металлизация – обрыв, короткое замыкание, увеличение паразитных связей.

Законы проникновения влаги

- Взаимодействие воды с материалами проявляется в двух формах:
 - а) вода проникает по всем возможным каналам или удерживается на поверхности;
 - б) вода оказывается химически связанной с элементами вещества.
- Вторая форма взаимодействия воды с материалами способствует более быстрому протеканию коррозии металлов, гидролизу и в отдельных случаях распаду некоторых материалов конструкций РЭС, что приводит к постепенным и внезапным отказам или к снижению эффективности функционирования.

Законы проникновения влаги

Пути проникновения влаги: макроскопические поры, трещины или капиллярное проникновение жидкости.

Первый закон Фика описывает процесс диффузии для установившегося процесса:

$$\Gamma = -D \text{grad} C,$$

где Γ – удельный диффузный поток, равный массе водяных паров, прошедших в 1 с через поверхность равную 1 м²;

C – концентрация водяных паров;

D – коэффициент диффузии водяных паров.

Закон растворимости Генри позволяет связать концентрацию пара и его парциальное давление p :

$$C = h p,$$

где h – коэффициент растворимости пара в материале.

Защита РЭС от влаги

Физический смысл защиты от влаги заключается в стабилизации процессов на поверхности и в объеме материала защищаемого изделия, т.е. в стабилизации его параметров в заданных пределах при изменении свойств окружающей среды или в период перехода ее из одного равновесного состояния в другое в процессе производства, эксплуатации и хранения в течение заданного периода времени.

Классификация конструкторско-технологических средств защиты от влаги

Средства защиты

Монолитные оболочки

Неорганические материалы:

- Пассивация SiO_2 и др.
- Различные стекла.

Органические материалы:

- Пассивация этилированием.
- Пропитка.
- Заливка.
- Обволакивание.
- Опресовка.

Полые оболочки

Неразъемные

Сочетания материалов:

- Металлополимерные.
- Металлостеклянные.
- Металлокерамические.
- Керамические, стеклянные.

Тип соединения:

- Пайка.
- Сварка.
- Клейка.




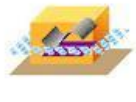


Разъемные:

- Полимерные и резиновые прокладки.
- Металлические прокладки.
- Разъемный паяный шов.

Заполнение:

- Вакуум.
- Инертные газы.
- Кремнийорганические жидкости.

Степень защиты IP (ГОСТ 14254-96)

Степени защиты от посторонних веществ и предотвращения контактов			Степени защиты от воды		
1-я цифра IP	Расширенная защита		2-я цифра IP	Расширенная защита	
	Защита	Описание		Защита	Описание
5		Полная защита человека от соприкосновения с тонкосекущими и внутренними движущимися частями. Защита объекта от вредного отложения пыли. Попадание пыли полностью не исключается, но предотвращается проникновение пыли в таком количестве, которое может привести к ухудшению функционирования.	5		Струя воды, направленная на объект с любой стороны, не должна давать нежелательных эффектов.
6		Полная защита человека от соприкосновения с тонкосекущими и внутренними движущимися частями. Защита объекта от проникновения пыли.	6		Временное обливание водой не должно приводить к нежелательным последствиям.
			7		Если объект погружен в воду (на глубину 0,15 – 1 м) при определенных условиях давления и времени, вода не должна оказывать вредного влияния.
			8		Если объект погружен в воду при известных крайне тяжелых условиях, вода не должна оказывать вредного влияния.

Атмосферное давление

создается массой воздуха, лежащей в данном месте. Оно падает с ростом высоты (табл. 4.3) и зависит от состояния погоды и других факторов [54, 55]. В табл. 4.4, 4.5

- Числовые значения атмосферного давления, принятые за международную стандартную атмосферу, приведены в ГОСТ 4401–81. Степени жесткости в зависимости от значений атмосферного давления представлены в соответствии с ГОСТ 16962–7.

Таблица 4.3

Высота, км	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Атмосфер. давление, $\times 10^3$ Па	34,6	40,0	46,6	54,6	62,6	72,0	82,6	93,3	106,6	120	135

Таблица 4.4

Пониженное атмосфер. давление, Па	$70 \cdot 10^3$	$53,3 \cdot 10^3$	$26,6 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	666	133	13,3	0,13
Степень жесткости	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблица 4.5

Повышенное давление воздуха или другого газа $\times 10^4$ Па	14,7	9,8
Степень жесткости	3,0	2

- Международная стандартная атмосфера характеризуется следующим составом, %: азот – 78,03, кислород – 20,99, аргон – 0,94, углекислота – 0,04; воздух абсолютно сух (относительная влажность равна 0 %; давление на уровне моря составляет 1013 Па при температуре 15 °С и плотности 1,225 кг/м³). Принято считать, что состав воздуха одинаков до 15 км. В пределах стандартной тропосферы температура воздуха изменяется линейно с высотой до 11 км с градиентом 0,65 °С на 100 м.
- Плотность атмосферы характеризуется числом молекул, содержащихся в 1 см³ воздуха на данной высоте над уровнем моря.
- **С увеличением высоты уменьшается влажность воздуха. Так, на высоте 15 км она не превышает 2–3 %.**

Уменьшение давления окружающей воздушной среды влияет на параметры РЭС непосредственно и косвенно.

- Непосредственное влияние сводится к уменьшению емкости и допустимого рабочего напряжения конденсаторов с воздушными диэлектриками, увеличению вероятности пробоя между и внутри различных конструктивных элементов РЭС из-за уменьшения электрической прочности воздуха, увеличению нагрузки на оболочке герметизированных электрорадиоэлементов.
- Косвенное влияние пониженного давления сводится к ухудшению теплоотвода от конструкции РЭС конвективным путем.

Примеси в воздухе.

Выделяют воздействия пыли, морского тумана (соль) и промышленных газов.

- Пыль (аэрозоль) – мельчайшие частицы органического и неорганического происхождения. Органическая пыль – споры растений, плесневые грибки, бактерии, мельчайшие остатки насекомых и растений, волокон органических материалов и т. п. В городах 40 % органических аэрозолей – сажа и смолы. Органическая пыль является хорошей питательной средой для развития плесени. С увеличением высоты концентрация органической пыли убывает по экспоненциальному закону.
- Неорганическая пыль состоит из частиц кварца, полевого шпата, слюды хлоридов и т. п.
- Неорганическая пыль составляет до 75 % всех аэрозолей.

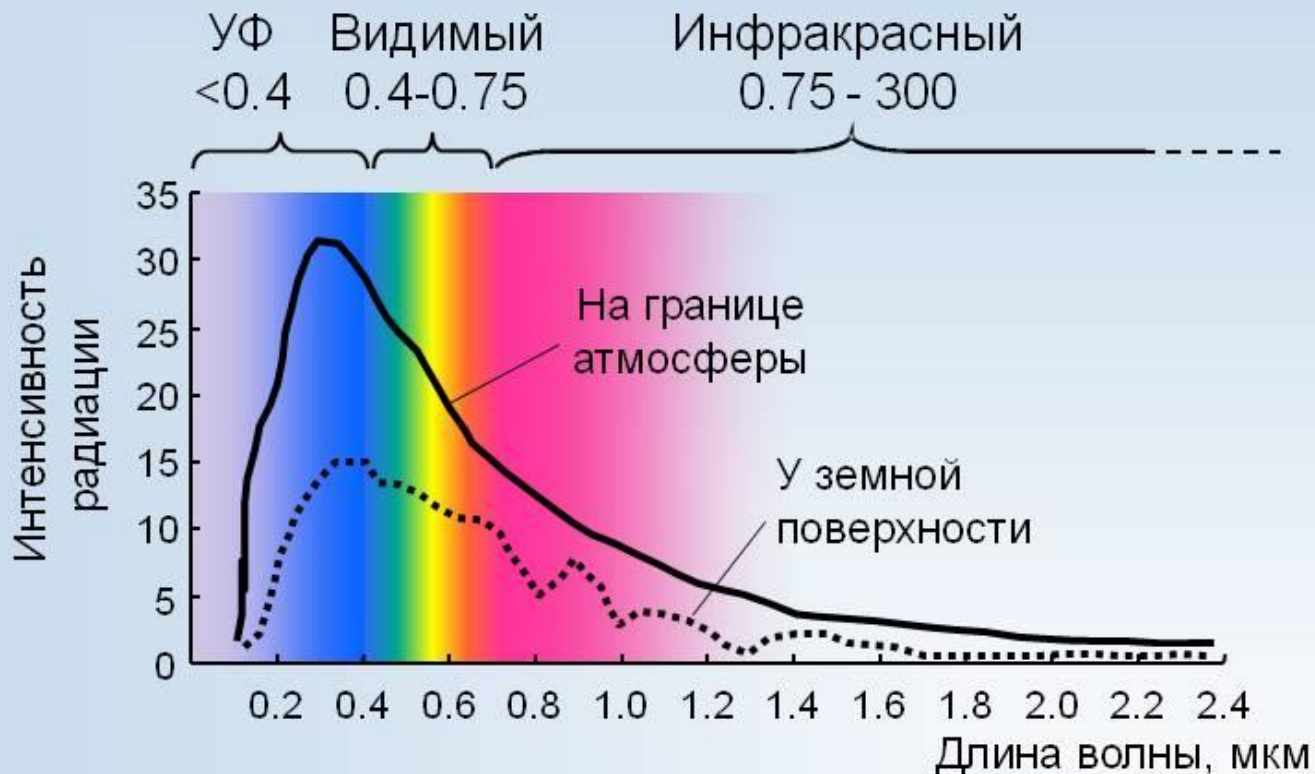
Примеси в воздухе.

Соотношение и состав органических и неорганических аэрозолей определяется географическим положением, временем года и наличием промышленных предприятий.

- Пыль хорошо поглощает влагу из воздуха, что приводит к увеличению вероятности короткого замыкания в монтаже РЭА или к коррозии металлов. Лакокрасочные покрытия под воздействием пыли и влаги разрушаются значительно быстрее, чем при нормальных условиях функционирования.
- Пыль, попадая на коммутационные элементы, уменьшает механическую прочность, приводит к образованию коронного разряда, а также к быстрому износу. Абразивные свойства пыли способствуют непрогнозируемым отказам механизмов РЭС.
- Морская пыль и промышленные газы усиливают коррозию металлов, так как содержат хлорные, сернистые и другие химически активные соединения [50].

Солнечная радиация.

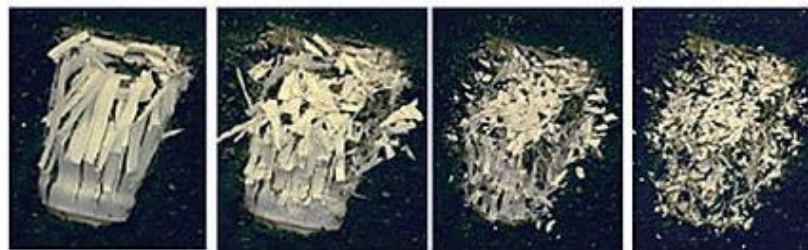
- спектр волн представляет собой диапазон от 100 до 1 000 000 Å
- Энергия распределяется следующим образом: ультрафиолетовая часть – около 9 % энергии солнечного излучения; видимая часть спектра – 41 %; инфракрасные волны – 50 %. Атмосферой и находящимися в ней паром и пылью поглощается около 19 % солнечной энергии; 35 % поглощается космическим пространством; около 46 % солнечной энергии достигает земли в диапазоне от 2900 до 40000 Å [49, 55].



Солнечная радиация.

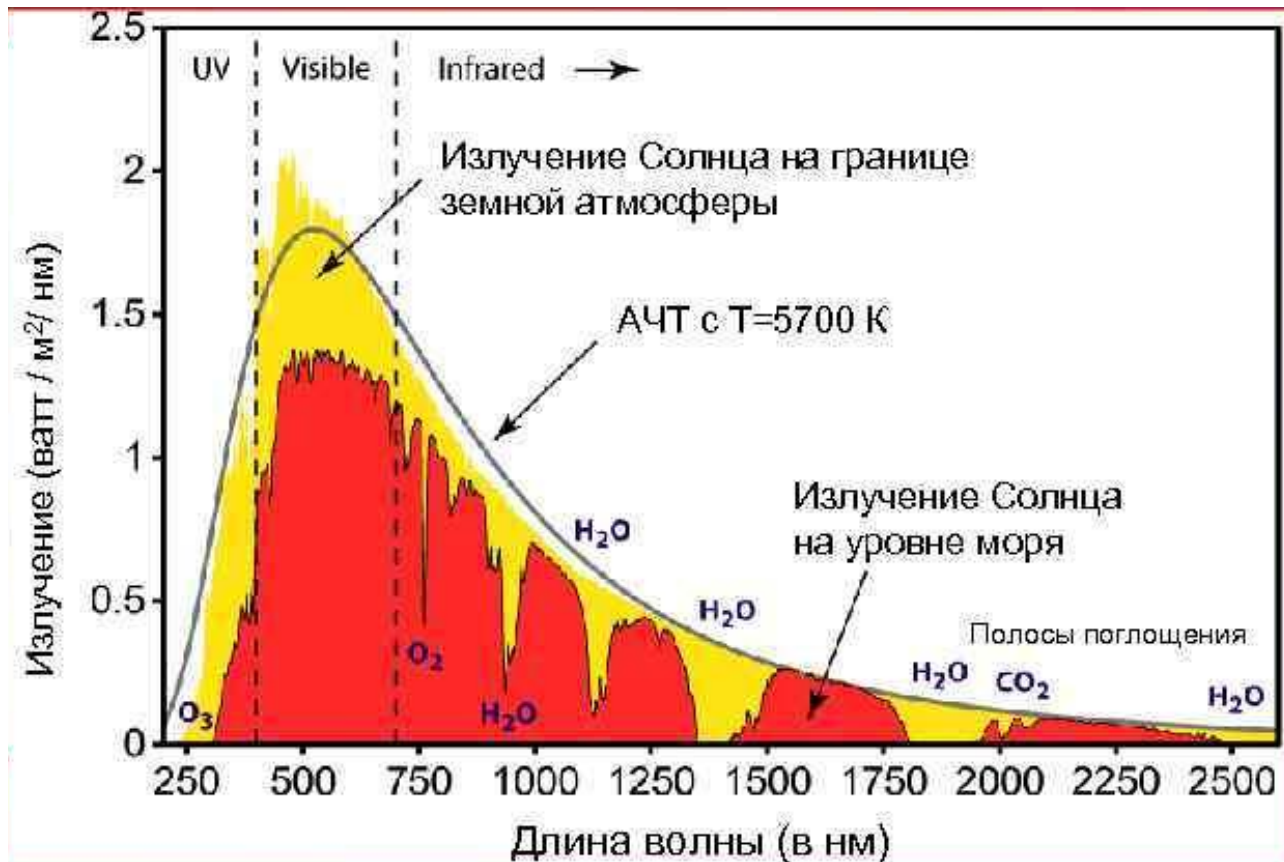
- Ультрафиолетовые волны поглощаются и рассеиваются сильнее, чем инфракрасные.
- Ультрафиолетовое излучение приводит к количественному изменению значительной части материалов органического происхождения, являясь катализатором реакции окисления полярных диэлектриков, или к частичному химическому разложению полимеров, содержащих хлор (поливинилхлорид и т. п.).

В терморезистивных пластмассах, а также в слоистых диэлектриках (гетинакс, текстолит, стеклотекстолит и т. п.) наблюдается изменение органической связки и цвета материала.



Солнечная радиация.

- Видимый свет приводит к химическому разложению ряда органических материалов (пластмасс, красителей и т. п.) и ряду других явлений.
- Инфракрасное излучение приводит к существенному повышению температуры, что влечет более нагруженный режим функционирования РЭС.



Внешние механические воздействия

В процессе эксплуатации, транспортировки и хранения изделия могут испытывать механические воздействия, характеризующиеся:

- диапазоном частот колебаний,
- амплитудой,
- ускорением,
- временем действия.

Причинами механических воздействий могут быть:

- вибрации движущихся частей двигателя,
- перегрузки при маневрировании,
- стартовые перегрузки,
- воздействие окружающей среды (ветер, волны, снежные лавины, землетрясения, обвалы и т. д.),
- взрывные воздействия (в том числе, атомные),
- небрежность обслуживающего персонала (падение аппаратуры) и т.д.

Виды механических воздействий

Воздействия	Уровень требований			
	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1995 г.
Вибрации:				
частота, Гц	5...60	5...1000	5...2500	5...5000
ускорение, g	7,5	10	15	40
Линейное ускорение, g	25	75	150	500
Одиночные удары, g	75	150	500	1000
Многократные удары, g	40	75	150	150
Акустические шумы, дБ	—	—	—	165

Количественно все перегрузки можно охарактеризовать:

- спектром гармонических частот
- стационарностью процесса.

Особенностью удара является то, что нагрузка действует небольшое время (неустановившийся процесс) и характеризуется широким спектром частот.

Свойства конструкций

Вибропрочность – свойство конструкции противостоять разрушающему действию вибрации в заданном диапазоне частот и ускорений и продолжать выполнять свои функции после окончания воздействия вибрации. Для этого не должно происходить силовых и усталостных разрушений, соударений частей конструкции.

Виброустойчивость – свойство конструкции выполнять функции при воздействии вибрации и ударов в заданных диапазонах частот и ускорений.

Ударостойкость – способность противостоять возникающим при ударах силам и после их многократного воздействия сохранять тактико-технические характеристики в пределах нормы.

Удар – кратковременный процесс воздействия, длительность которого равна двойному времени распространения ударной волны через объект.

Как правило, обеспечение вибростойкости, виброустойчивости и ударостойкости связано с отсутствием резонанса и люфтов.

Методы защиты

Методы защиты от внешних механических воздействий:

- виброизоляция аппаратуры с помощью амортизаторов;
- обеспечение механической жесткости и прочности конструкции.

При виброизоляции на пути распространения волновой энергии механических колебаний располагается дополнительное приспособление, отражающее или поглощающее определенную часть этой энергии. Возникают ограничения по массе, размерам, прочности и т.д.

При воздействии на амортизированный объект вибраций (ударов), спектр частот которых лежит выше частоты собственных колебаний системы, амортизатор работает как линейный фильтр нижних частот.

Амортизация

Амортизация - система упругих опор, на которые устанавливается объект с целью защиты его от внешних динамических воздействий.

Основное свойство таких опор (амортизаторов) – колебания несущей конструкции, возникающие в результате действия внешних вибраций и ударов, передаются аппаратуре через упругий элемент.

Демпфирование – поглощение энергии, обусловленное рассеянием энергии в результате трения в материале амортизатора (резина), в сочленениях (сухой демпфер), в среде (воздушный или жидкостный демпфер).

Жесткость конструкции

Жесткость конструкций – отношение силы к деформации, вызванной этой силой.

Критерий высокой жесткости – обеспечение собственной резонансной частоты конструкции в три раза большей частоты воздействующих колебаний.

Пример:

Резонансная частота отрезка многожильного провода длиной 10 мм составляет 1000-2000 Гц, а элементов диаметром 0,6...1 мм (масса 0,3...12 г) и общей длиной с учетом проволочных выводов, равной 30 мм – 200-450 Гц, то воздействующая частота не должна превышать 70 Гц.

Классификация амортизаторов

Технические требования подразделяются на группы:

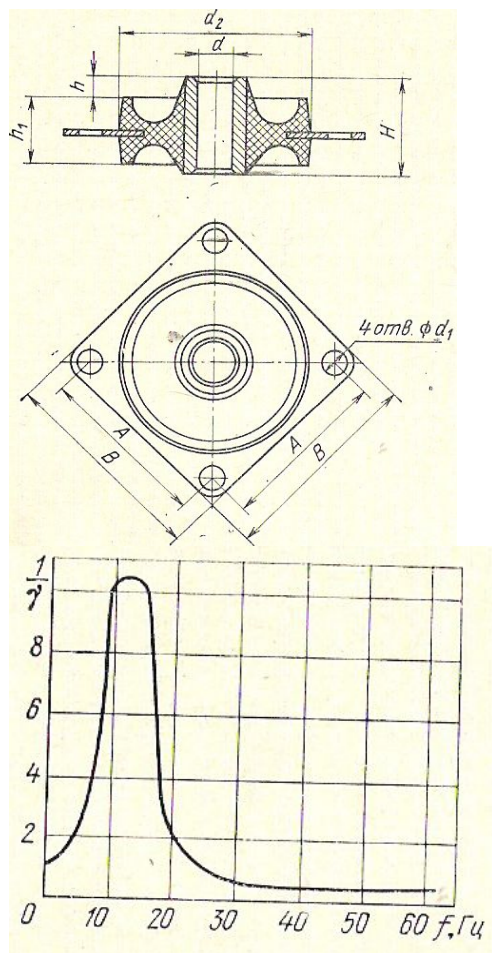
1. динамических параметров;
2. климатических условий эксплуатации;
3. конструктивных параметров.

По конструктивному признаку амортизаторы подразделяются на:

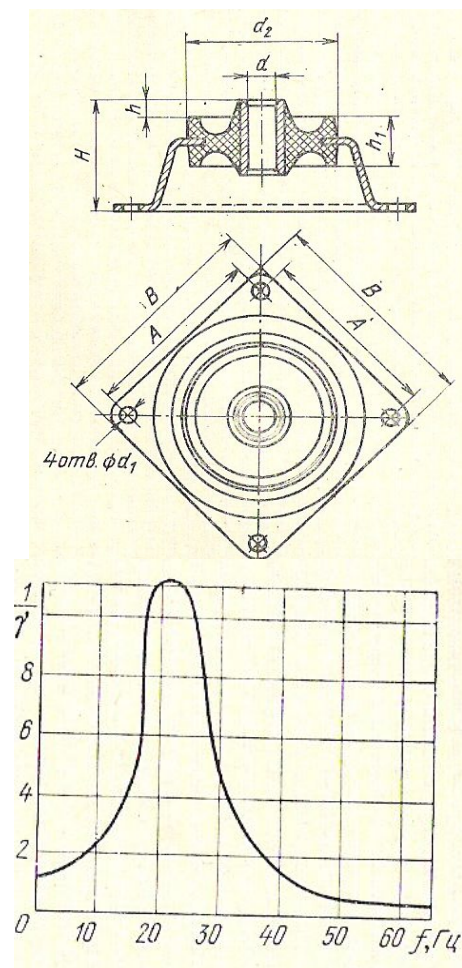
1. резинометаллические;
2. пружинные с воздушным демпфированием;
3. пружинные с фрикционным демпфированием;
4. цельнометаллические со структурным демпфированием.

Амортизаторы резинометаллические

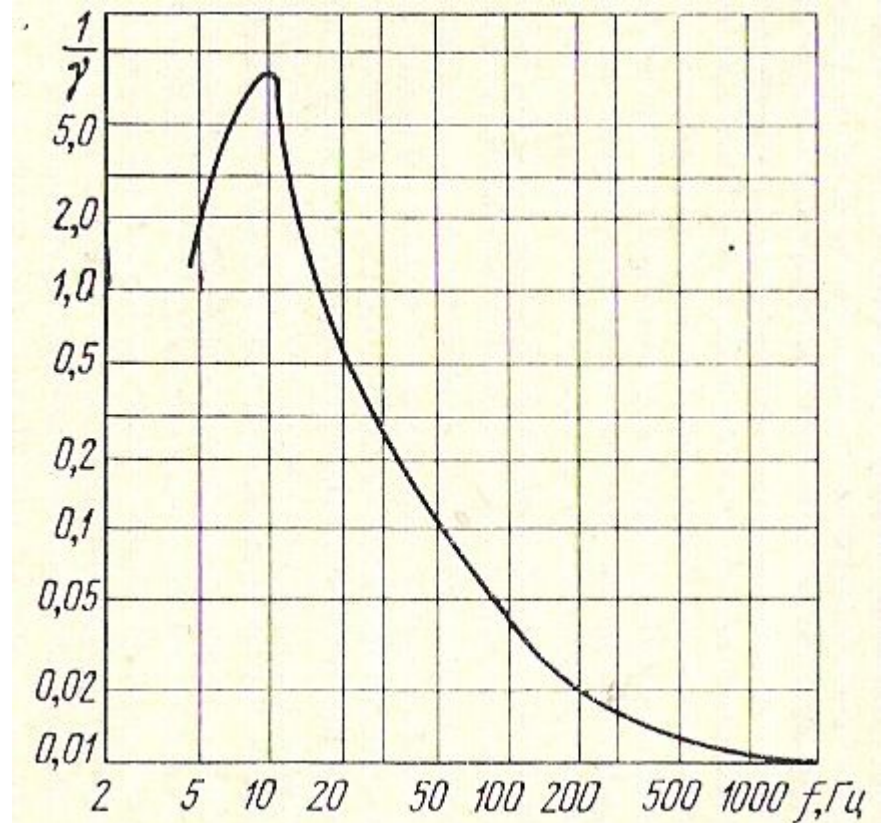
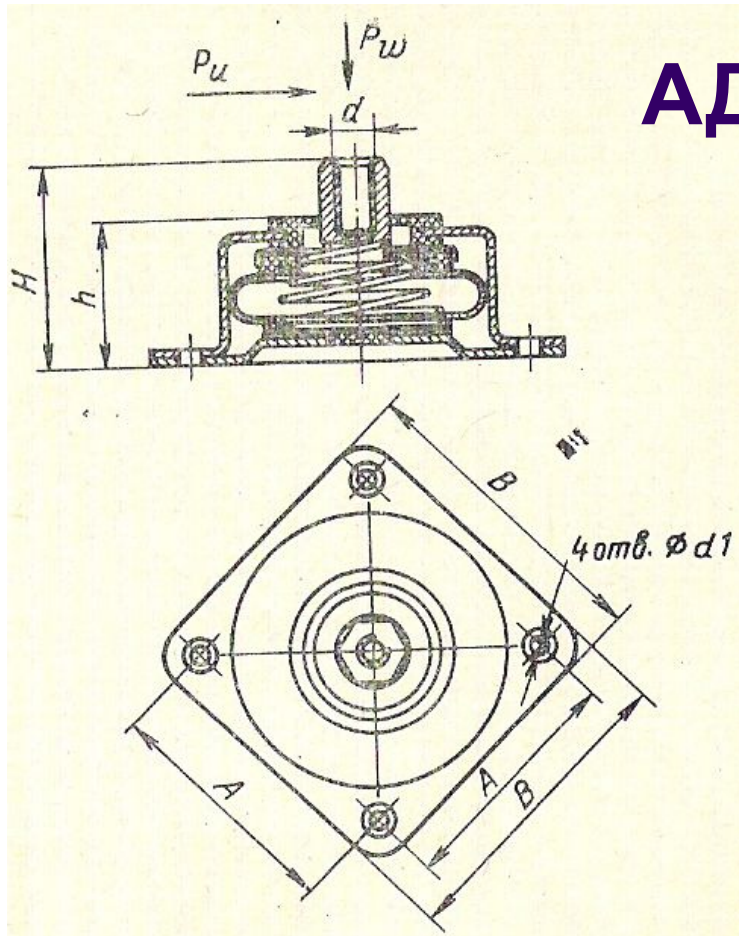
А
П



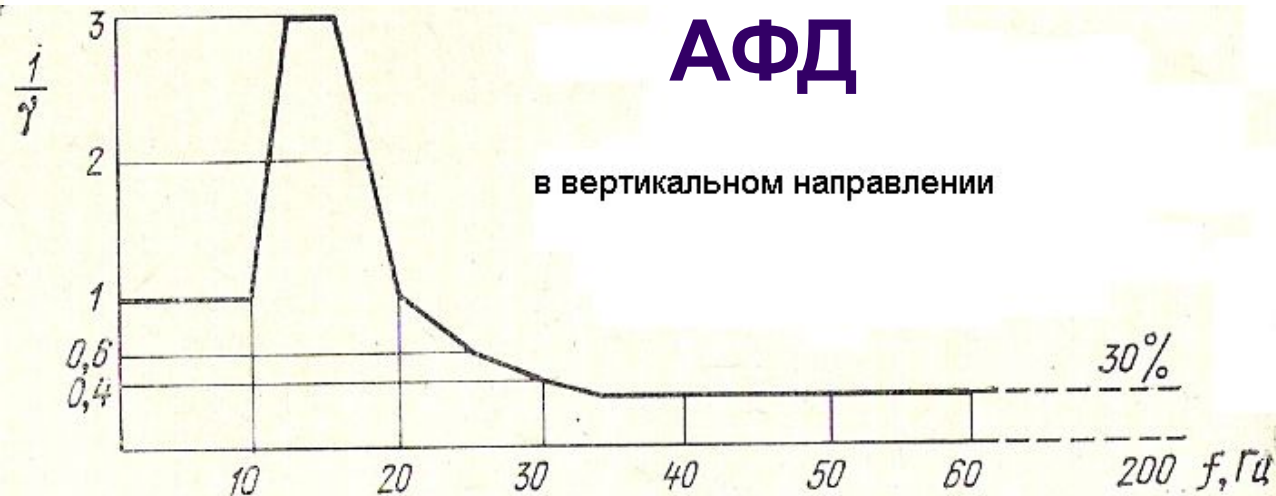
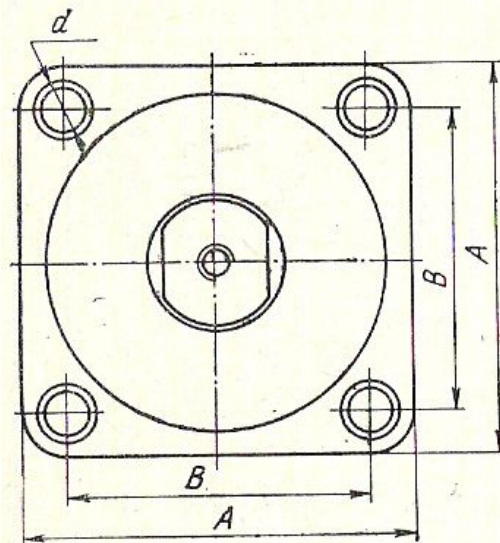
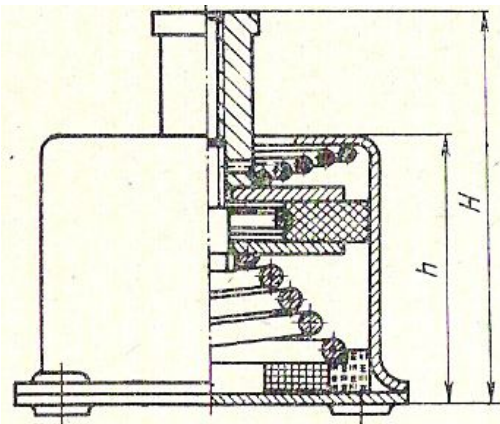
А
Ч



Амортизаторы пружинные с воздушным демпфированием

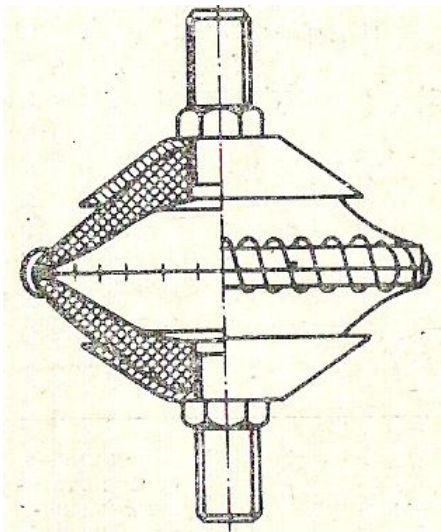


Амортизаторы пружинные с фрикционным демпфированием

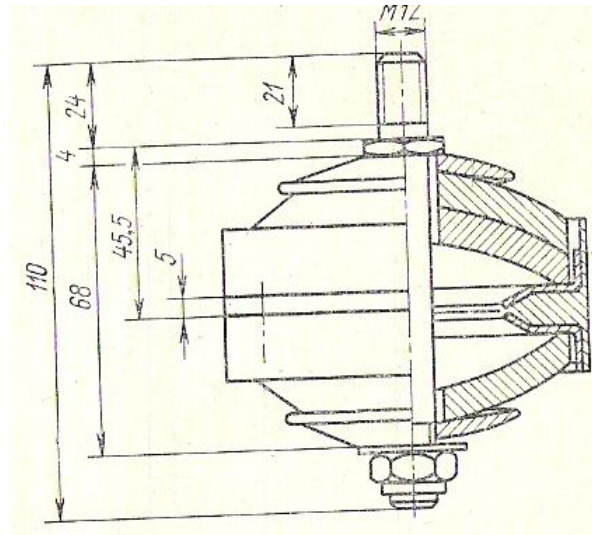


Амортизаторы цельнометаллические со структурным демпфированием

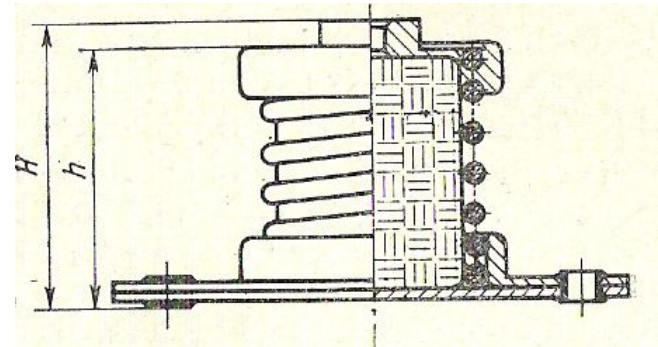
ДК



АРМ



АЦП



Вопросы электромагнитной совместимости (ЭМС) РЭС

Сущность обеспечения ЭМС

Электромагнитная совместимость РЭС – способность этих средств функционировать одновременно в реальных условиях эксплуатации при воздействии непреднамеренных электромагнитных помех (НЭМП) и не создавать недопустимых электромагнитных помех (ЭМП) другим средствам.

Области рассмотрения вопросов ЭМС:

1. Радиочастотный ресурс (РЧР)

Изучение условий пользования радиоканалами различными радиослужбами и разработка принципов управления, прогнозирования ресурсов, нормирования его параметров, совершенствование нормативно-технической документации (НТД).

В соответствии с нормами Международного консультативного комитета по радио (МККР) весь нормируемый от ЭМП диапазон частот разбит на полосы:

- 9 - 535 кГц;
- 535 - 1605 кГц;
- 1605 - 4000 кГц;
- 4 - 29,7 МГц;
- 29,7 - 100 МГц;
- 100 - 470 МГц;
- 470 - 2450 МГц;
- 2450 - 10500 МГц;
- 10500 - 40000 МГц;
- 40000 - 275000 МГц.

Сущность обеспечения ЭМС

2. Непреднамеренные электромагнитные помехи (НЭМП)

Выявление источников и определение энергетических, частотных и временных характеристик НЭМП, статистический анализ, моделирование и изучение влияния среды на их распространение. Изучение влияния НЭМП на работу различных приемников (рецепторов) помех, создание научно-технической документации на допустимые уровни помех и т.п.

3. Характеристики ЭМС

Технические характеристики любой РЭС можно разделить на группы:

- **функциональные**, например, мощность радиопередатчика и чувствительность приемника;
- **влияющие** на ЭМС. Например, мощность побочного излучения и восприимчивость приёмника на боковом канале.

Уровни ЭМС:

- внутриаппаратная (в блоке, узле и т.п.);
- внутрисистемная ЭМС (внутри радиоэлектронного комплекса);
- межсистемная ЭМС (между различными системами и комплексами).

Сущность обеспечения ЭМС

4. Электромагнитная обстановка (ЭМО)

Определение реальных условий, в которых работает или будет работать конкретное изделие при наличии или отсутствии полезного сигнала на входе в случае действия НЭМП через этот вход или помимо него. В соответствии с тремя уровнями ЭМС определяют аналогично и три вида ЭМО.

5. Методы и способы обеспечения ЭМС:

- **Организационные** мероприятия относятся в основном к уровню межсистемной ЭМС и заключаются в рациональном выборе частот радиоканалов для различных радиослужб, определяют места размещения средств и т.д.
- **Технические** мероприятия делятся на конструкторско-технологические и схемотехнические. Конструкторско-технологические реализуются в основном на внутрисистемном и внутриаппаратном уровнях обеспечения ЭМС. Требования обеспечения ЭМС должны быть составной частью технического задания (ТЗ) на разработку и в последующем техническими условиями (ТУ) на изделие в производстве и эксплуатации.

Основные понятия ЭМС

Электромагнитная помеха – электромагнитный, электрический или магнитный процесс, созданный любым источником в пространстве или проводящей среде и влияющий на операции с полезным сигналом в РЭА.

ЭМП, созданная в пространстве, называется **излучаемой** помехой, а созданная в проводящей среде – **кондуктивной** помехой.

НЭМП возникают вследствие случайных процессов, протекающих в источниках помех, и потому они носят вероятностный характер и описываются статистическим аппаратом.

Рецептор – любое техническое устройство, реагирующее на электромагнитный полезный сигнал или на ЭМП.

Электромагнитная обстановка (ЭМО) - совокупность электромагнитных, электрических, магнитных полей, токов и напряжений помех и сигналов в заданной области пространства, которая влияет или может влиять на работу рецептора.

Количественно ЭМО определяется характеристиками ЭМС рецептора.

Основные понятия ЭМС

Радиочастотный ресурс - совокупность возможных для использования радиочастотных электромагнитных полей для передачи и приема информации или энергии.

Восприимчивость рецептора - мера реакции на внешнюю ЭМП как при наличии, так и при отсутствии полезного сигнала.

Порог восприимчивости - максимально допустимый уровень НЭМП, при котором рецептор работает с приемлемым качеством.

Помехоустойчивость рецептора - свойство противостоять внешним и внутренним ЭМП за счет выбора структуры полезного сигнала и принципа построения рецептора.

Помехозащищенность рецептора - свойство противостоять внешним и внутренним ЭМП за счет схемных и конструкторских способов, не нарушающих выбранную структуру полезного сигнала и принципа построения рецептора.

Основные понятия ЭМС

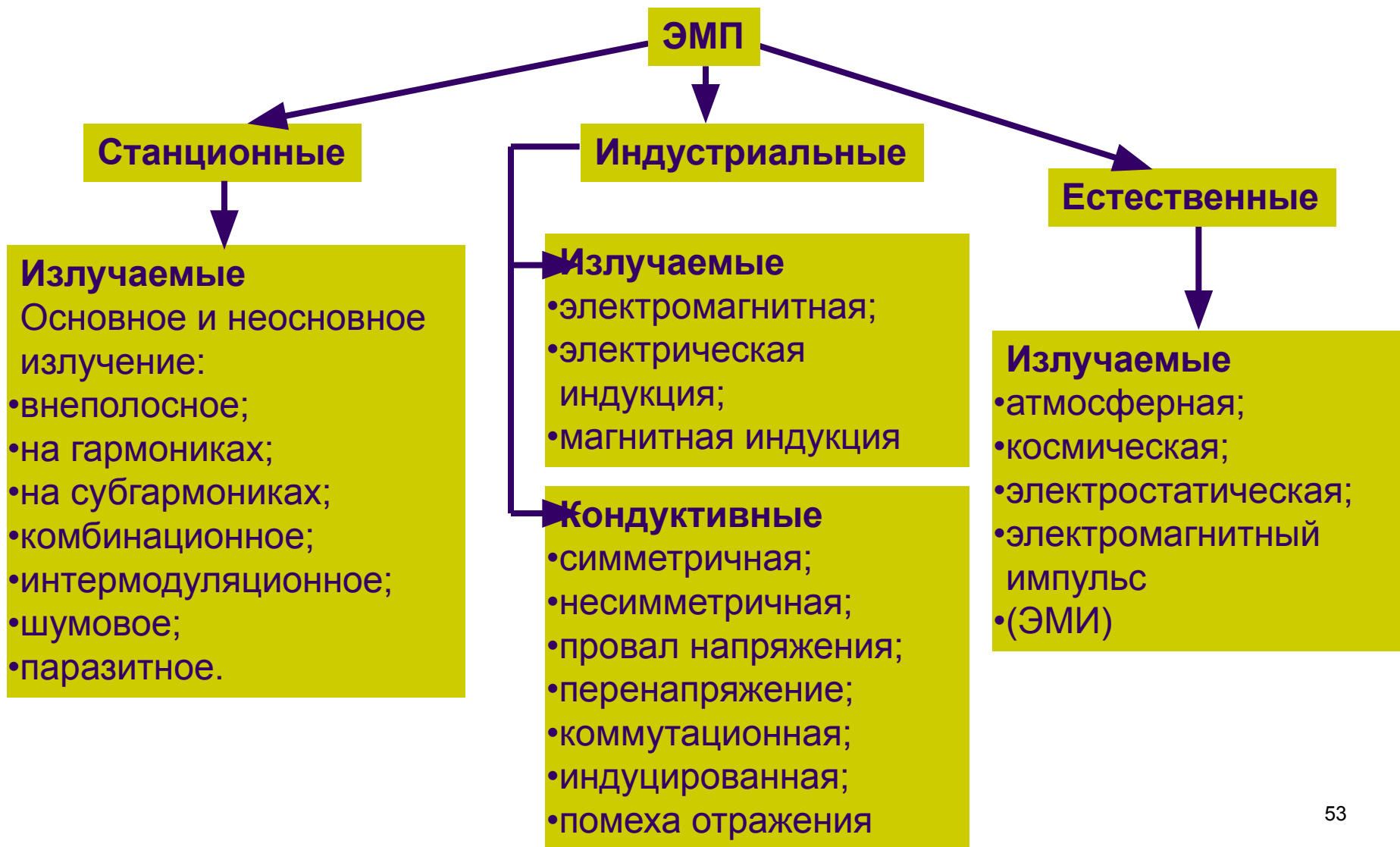
Экран – элемент конструкции РЭА в виде металлической заземленной оболочкой с высокой электрической или магнитной проводимостью, служащий для ослабления ЭМП в определенной области пространства в широком диапазоне частот.

Экранирование – способ ослабления ЭМП с помощью металлической оболочки (экрана), обладающей высокой электрической или магнитной проводимостью.

Фильтрация – ослабление напряжения и токов помехи с помощью электрической цепи (фильтра), вносящей затухание в заданных пределах и в заданных полосах частот.

Заземление – электрическая цепь, обладающая свойством сохранять минимальный (нулевой) потенциал.

Классификация ЭМП по классу и типу



Классификация ЭМП по виду



Помехи. Определения

Станционные – помехи от антенны радиопередающего центра.

Индустриальные – помехи от электротехнических, электронных и радиоэлектронных бытовых, промышленных, медицинских и научных устройств и установок и т.п.

Ввиду разнообразия источников помех индустриальные помехи – наиболее распространенный вид, и он занимает широкий диапазон частот (от десятков герц до нескольких гигагерц).

Естественные – помехи, вызванные природными физическими процессами в виде электромагнитного излучения (космические и атмосферные шумы, реликтовое излучение, радиоизлучение Солнца, атмосферерики, электростатические поля различных атмосферных образований и летательных аппаратов и т.п.).

Контактные – помехи, возникающие при переизлучении от токопроводящих механических контактов с нелинейной токовой проводимостью при облучении последних достаточно мощным радиопередающим устройством.

Эти помехи характерны для движущихся объектов (корабли, танки, самолеты, автомобили и т.п.), и уровень таких помех возрастает с увеличением скорости движения объекта.

Нормативно-техническая документация по ЭМС

Международные документы в области ЭМС:

1. “Регламент радиосвязи”;
2. “Публикации” Международного специального комитета по радиопомехам (СИСПр).

К международной НТД по ЭМС относятся требования к характеристикам ЭМС радиоэлектронной и электротехнической аппаратуры летательных аппаратов, разработанные Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), членом которой является Россия.

Аналогичная НТД существует на морскую и автомобильную аппаратуру. Основная отечественная НТД по ЭМС - это Государственные стандарты (ГОСТ) и общегосударственные нормы Госкомитета по радиочастотам (ГКРЧ) России.

Нормативно-техническая документация по ЭМС

ГОСТ 11001-80 (СТ СЭВ 502-77). Приборы для измерения промышленных радиопомех. Технические требования и методы измерения.

ГОСТ 16842-82 (СТ СЭВ 784-77). Радиопомехи промышленные. Методы испытаний источников радиопомех.

ГОСТ 13661-72. Электрические фильтры для подавления радиопомех. Методы измерения вносимого затухания.

ГОСТ 14777-76. Радиопомехи промышленные. Термины и определения.

ГОСТ 23611-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.

ГОСТ 23872-79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Номенклатура параметров и классификация технических характеристик.

Нормативно-техническая документация по ЭМС

ГОСТ 23450-79. Радиопомехи промышленные от промышленных, научных и медицинских высокочастотных установок. Нормы и методы измерения.

Межведомственные требования “Нормы летной годности самолетов”. НГЛС-2 “Оборудование самолетов”. Издание МК НГЛ СССР, 1974 г.

Общесоюзные нормы на уровни побочных излучений радиопередатчиков всех категорий и назначений (гражданских образцов).- М.: Связь, 1972 г.

Общесоюзные нормы допускаемых промышленных радиопомех (нормы 1-72-9-72).- М.: Связь, 1973 г.

Общесоюзные нормы допускаемых промышленных радиопомех.

Промышленные, научные, медицинские и бытовые высокочастотные установки. Допускаемые величины и методы испытаний (нормы 5Б-80). - М.: Радио и связь, 1981 г.

Методы обеспечения ЭМС

1. Экранирование.
2. Фильтрация помех.
3. Заземление.
4. Монтажные соединения.
5. Элементная база.
6. Защита от молний (мощный электромагнитный импульс).

Сущность метода экранирования

- Анализируется структура помехонесущего поля в ближней и дальней зонах распространения;
- на основе структуры ЭМП выбирается тип и материал экрана, определяются требования к конструкции экрана;
- анализируется принцип действия экрана на основе теории поля и радиотехнических цепей, рассчитывается эффективность экранирования с учетом конструктивных особенностей экрана;
- определяется эффективность экранирования функциональных узлов, в т.ч., микросборок;
- определяется эффективность экранирования проводов, витых пар проводов, кабелей всех видов на основе теории емкостных и индуктивных связей;
- реализуются практические рекомендации по конструированию экранов, способам их заземления, применения уплотняющих прокладок, методам и материалам соединений и пр.;
- реализуются технологические мероприятия, обеспечивающие надежность и стабильность экранирования при длительной эксплуатации и воздействии вредных факторов окружающей среды;
- составляются методики контроля качества и надежности экранов при оценке эффективности экранирования.

Взаимодействие электромагнитного поля с зарядами и токами

- Воздействие поля на электрический заряд (сила Лоренца):

$$\vec{F}_e = q\vec{E} + q[\vec{v}, \vec{B}],$$

где q – заряд, \vec{E} – напряженность электрического поля, \vec{v} – скорость перемещения заряда, \vec{B} – индукция магнитного поля.

- Воздействие поля на электрический ток (сила Ампера):

$$\vec{F}_a = l[\vec{I}, \vec{B}],$$

где \vec{I} – вектор тока в проводнике.