

## 10. ЗАЩИТА РЭС ОТ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

### 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.

### 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.

**Вибростойчивость** – 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, вибростойчивости 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.

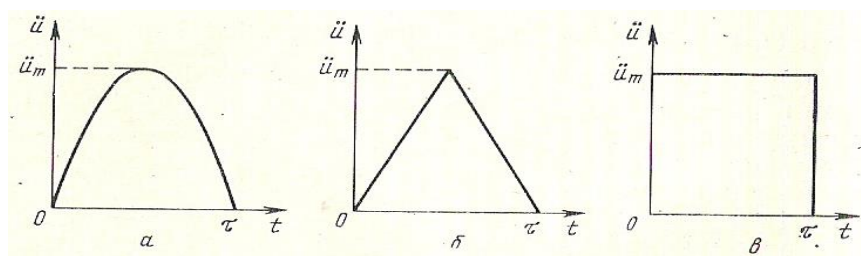
Критерий высокой жесткости – обеспечение собственной резонансной частоты конструкции в три раза большей частоты воздействующих колебаний.

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.

### Ударные воздействия

**Удар** – мгновенное изменение скорости движения тела на конечную величину за короткий промежуток времени. Удар является нестационарным процессом с широким спектром. Удар вызывает возникновение собственных и вынужденных затухающих колебаний.



Ударные импульсы: полусинусоидальный, треугольный и прямоугольный

## Исходные данные для проектирования

При проектировании системы амортизации определяют количество и тип амортизаторов, а также способ их расположения.

В качестве исходных служат параметры:

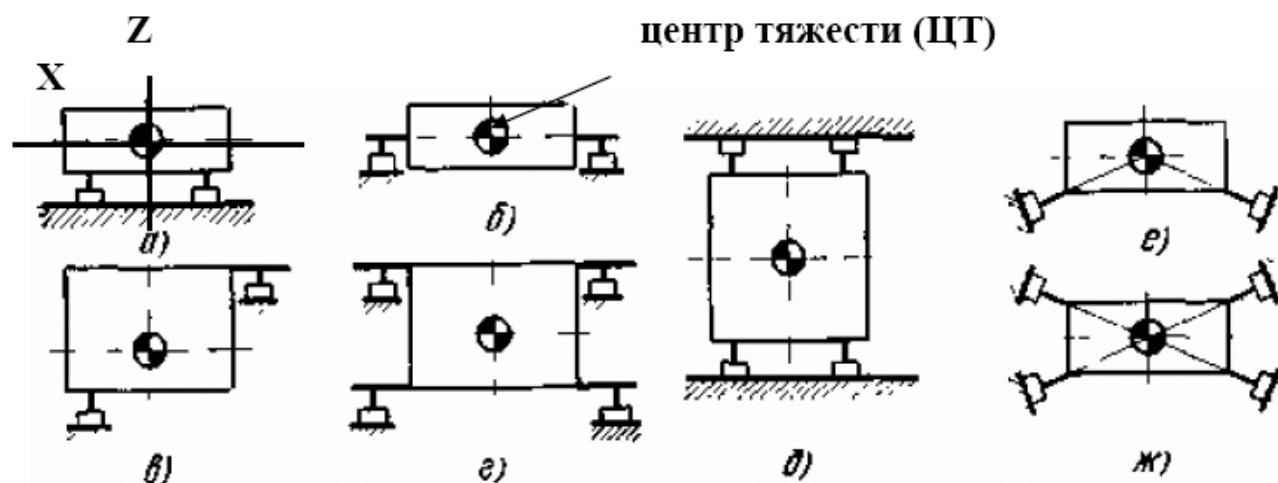
- внешних динамических воздействий;
- окружающей среды;
- кинетические параметры и габариты амортизируемой аппаратуры;
- допустимые значения динамических воздействий на амортизируемую аппаратуру;
- статические и динамические характеристики амортизаторов.

## Этапы расчета

Расчет системы амортизации проводят в три этапа:

1. Статический расчет – определяют статическую нагрузку на каждый амортизатор и выбирают тип амортизатора.
2. Расчет на вибрационную нагрузку – определяют частоты собственных колебаний блока РЭС и коэффициент динамичности.
3. Расчет на ударную нагрузку – вычисляют максимальное ускорение при ударе и оценивают эффективность защиты РЭС от вибраций и ударов.

## Схема расположения амортизаторов



Схемы монтажа:

*а* - нижний монтаж; *б* - монтаж в плоскости центра тяжести;

*в* - монтаж в диагональной плоскости, проходящей через центр тяжести; *г* - монтаж в двух горизонтальных плоскостях;

*д* - двусторонний монтаж; *е* - монтаж под углом, односторонний;

*ж* - монтаж под углом, двусторонний

## Статический расчет системы амортизации

Условие равновесного состояния системы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum P_i = mg; \\ \sum P_i x_i = 0; \\ \sum P_i y_i = 0; \\ \sum P_i z_i = 0; \\ \sum P_i x_i y_i = 0; \\ \sum P_i y_i z_i = 0; \\ \sum P_i x_i z_i = 0. \end{array} \right.$$

За начало прямоугольной системы координат принимается *центр тяжести* объекта.

Если число неизвестных в системе не превышает трех, система является статически определимой.

Если система состоит из  $n$  амортизаторов, то для рационального монтажа заданными должны быть  $(4n-7)$  величин.

Пример: при  $n=3$  (три амортизатора) необходимо задать пять величин, а при  $n=4$  (четыре амортизатора) – девять величин.

### Выбор типоразмера амортизатора

Типоразмер амортизатора определяем по рассчитанным значениям:

$$P_i = (0,7-1,3)P_{ном.}$$

Величины статических прогибов амортизаторов можно определить либо по их силовым (статическим) характеристикам, либо приближенно по формуле:

$$\xi_{cmi} = P_i / k_i.$$

Для выравнивания системы до положения статического равновесия используют прокладки толщиной:

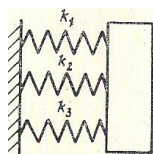
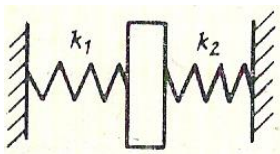
$$\Delta_i = \xi_{cmi} - \xi_{cmmin},$$

где  $\xi_{cmmin}$  – статический прогиб наименее деформированного амортизатора системы.

### Динамический расчет системы амортизации

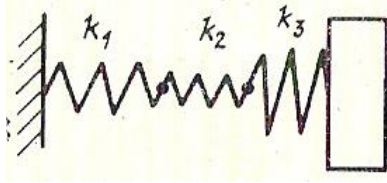
Расчет жесткости системы амортизаторов:

*Параллельное*



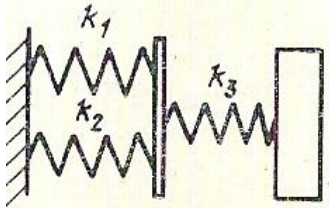
$$k_{\Sigma} = k_1 + k_2 \quad k_{\Sigma} = k_1 + k_2 + k_3$$

*Последовательное*



$$k_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}}$$

*Смешанное*



$$k_{\Sigma} = \frac{1}{\frac{1}{k_1 + k_2} + \frac{1}{k_3}}$$

Собственная частота амортизаторов берется из справочников или определяется:

$$\omega_0 = \sqrt{k_{\Sigma}/m}$$

*для системы без демпфирования*

$$\omega_h = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2} = \sqrt{\omega_0^2 - h^2/4m^2}$$

*для системы с демпфированием*

## **Защита РЭС от влаги**

В процессе производства, хранения и эксплуатации РЭС подвергаются воздействию различных факторов (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).

**Абсолютная влажность** – объемная концентрация водяных паров в воздухе, г/м<sup>3</sup>.

**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.

**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.

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.

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

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

*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.

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 ( $\text{Na}^+$  и др.) на границе  $\text{Si-SiO}_2$ ;

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, потеря, 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**

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  $\Gamma$  – удельный диффузный поток, равный массе водяных паров, прошедших в 1 с через поверхность равную 1 м<sup>2</sup>;

$C$  – концентрация водяных паров;

$D$  – коэффициент диффузии водяных паров.

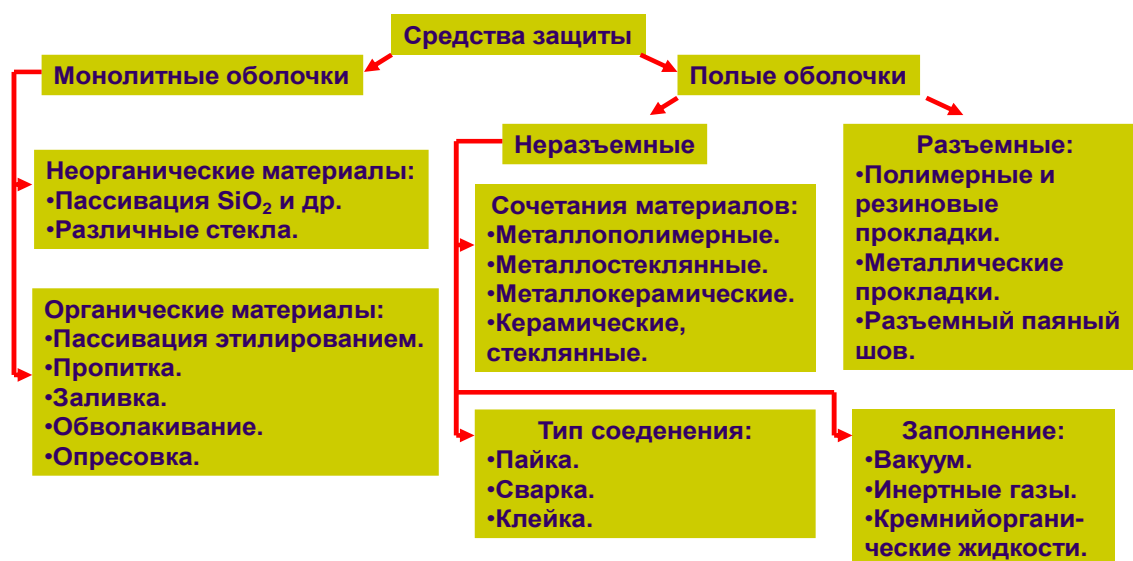
*Закон растворимости Генри* позволяет связать концентрацию пара и его парциальное давление  $p$ :

$$C = hp,$$

где  $h$  – коэффициент растворимости пара в материале

**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



## Достоинства монолитных оболочек

Пассивация – подавлении химически активных центров на поверхности полупроводниковых приборов.

Преимуществами защиты от влаги пропиткой, заливкой, обволакиванием с использованием полимерных материалов являются:

- дешевизна, обусловленная возможностью использования высокопроизводительных методов и малой стоимостью сырья;
- упрощение конструкции при одновременном увеличении ее механической прочности;

улучшение электроизоляционных параметров конструкции

К недостаткам защиты полимерными материалами относится:

- ухудшение отвода тепла по сравнению с металлическими корпусами;
- увеличение паразитных емкостей;
- возможность возникновения внутренних напряжений при отвердевании полимера и под воздействием температуры;
- сложность ремонта;
- ограниченная влагостойкость вследствие поглощения влаги полимерами;
- ухудшение защитных свойств во времени из-за старения.

## Полые оболочки

Достоинства:



- наиболее высокое качество герметизации;
- обеспечение химической и механической нейтральности оболочки по отношению к защищаемым компонентам;
- минимизация паразитных связей.

Недостатки:

- трудоемкость защиты в 2...3 раза выше трудоемкости защиты монолитными оболочками;
- стоимость защиты достигает 20... 45% стоимости всего изделия;
- плотность компоновки уменьшается в 10... 1000 раз.

## ВЫБОР И ОБОЗНАЧЕНИЕ ПОКРЫТИЯ.

Выбор защитного покрытия производится с учетом функционального назначения детали, условий хранения и эксплуатации изделия, с учетом взаимодействия с соприкасающимися деталями в конструкции. Детали, расположенные внутри блоков, должны защищаться металлическими окисидными или пассивными пленками; поверхности деталей, соприкасающиеся с внешней средой, должны быть дополнительно защищены лакокрасочными покрытиями.

ГОСТ 9.306-85 классифицирует металлические и неметаллические неорганические покрытия по способу получения, функциональным и декоративным свойствам и по способу дополнительной обработки покрытия.

Классификация покрытий в зависимости от условий эксплуатации приведена в табл. 1. 9.

Таблица 1. 9

### УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗДЕЛИЙ

ГРУППА УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ (обозначение)	УСЛОВИЯ ХРАНЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ	ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, °С
Легкие (Л)	Отапливаемые помещения и склады	от +1 до +40
Средние (С)	Помещения без регулируемых климатических условий с большими колебаниями температуры и влажности	от -50 до +40
Жесткие (Ж)	Открытые площадки, навесы в районах с умеренным и холодным климатом. Помещения без регулируемых климатических условий в районах с тропическим климатом.	от -50 до +50
Особо жесткие (ОЖ)	Открытые площадки с любым климатом (включая тропический), с большими колебаниями температуры и влажности.	от -50 до +60

При выборе покрытий следует учитывать изменение размеров деталей, а также изменение свойств материалов детали в процессе покрытия, разность потенциалов между металлом покрытия и деталью и между покрытиями сопрягаемых деталей.

Детали, изготовленные по квалитетам точности 01 - 4 следует изготавливать из материалов, не требующих покрытий: детали, изготовленные по 5 - 8 квалитетам, можно защищать покрытиями, полученными химическим способом (например, никелированием) и некоторыми покрытиями, полученными гальваническим способом (цинкование, кадмирование и др.); детали, выполненные по 9 - 17 квалитетам, можно защищать покрытиями всех видов.

Материал детали может изменять свои свойства в процессе нанесения покрытия (например, при нанесении диффузионных покрытий на деталь воздействуют высокие температуры, вызывающие структурные изменения в материале детали - отжиг, отпуск, потерю твердости; при гальванических покрытиях углеродистых сталей происходит насыщение водородом, что увеличивает хрупкость деталей).

Разность потенциалов металла покрытия и основного металла (или сопрягаемых деталей с покрытиями) должна быть возможно меньшей. В зависимости от поляризуемости пленки металла различают катодные и анодные покрытия. Катодное покрытие (если электродный потенциал металла покрытия в данной среде более положительный, чем электродный потенциал основного металла) обеспечивает только механическую защиту детали. Анодное покрытие (если электродный потенциал металла покрытия более отрицательный) обеспечивает и механическую и электрохимическую защиту основного металла детали.

В табл.1.10 приведены электрохимические потенциалы ряда металлов в различных средах.

Таблица 1. 10

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ МЕТАЛЛОВ

Металл	Электрохимический потенциал, мВ	Металл	Электрохимический потенциал, мВ
Среда: пресная вода		Среда: морская вода	
Серебро	+ 194	Серебро	+ 149
Медь	+ 140	Никель	+ 46
Никель	+ 118	Медь	+ 10
Алюминий	- 169	Свинец	- 259
Олово	- 175	Цинк	- 284
Свинец	- 284	Сталь	- 335
Сталь	- 350	Кадмий	- 509
Кадмий	- 574	Алюминий	- 667
Цинк	- 823	Олово	- 809

В табл. 1. 11 приведены пары металлов с точки зрения их конструкционной совместимости друг с другом.

Для стали в обычных условиях эксплуатации и отсутствия в атмосфере хлористых соединений применяют цинковые покрытия, в жестких условиях (морской климат) - кадмирование. Для увеличения твердости используется хромовое покрытие. Оно может использоваться в любых условиях работы при наличии никелевого и медного подслоя (например, *M9.H6.X*; *M18.H9.X*). То же относится и к хромовым покрытиям по меди и медным сплавам (латуням).

Таблица 1. 11

### ПАРЫ МЕТАЛЛОВ

ПАРА МЕТАЛЛОВ	СВОЙСТВА И РЕКОМЕНДАЦИИ
Алюминий - медь	Сильно корродирует алюминий. Пары недопустимы.
Алюминий - латунь	
Алюминий - бронза	
Алюминий - магний	Нежелательная пара, т.к. при контактных соединениях корродирует магний.
Алюминий - сталь	Используется благодаря небольшой разности потенциалов.
Алюминий - нержавеющая сталь	Пара может работать в нормальных условиях, в морской среде сильно корродирует алюминий.
Титан - алюминий	Допустимая пара во всех условиях, кроме погружения в морскую воду (титан усиливает коррозию алюминия).
Магниевые сплавы - любые металлы	Сильная коррозия магния. В зоне соединения рекомендуется хорошая защита - грунтовка, шпаклевка, окраска.

Для коррозионной защиты хромовое покрытие наносят только на подслою никеля (*H6.X*; *хим.H9.X*) для всех условий эксплуатации. Подслою никеля обязателен при нанесении хромового покрытия по алюминиевым сплавам (*H18.X*; *хим.H24.X*).

Никелевое покрытие хорошо защищает сталь по подслою меди (*M6.H6*). Для защиты деталей из алюминиевых сплавов используется многослойное покрытие медь-никель-олово-висмут. При этом медь необходима для хорошей адгезии к основному металлу, никель - для придания твердости, олово - для паяемости и висмут - для защиты покрытия от "оловянной чумы" (разрушения олова под действием низкой температуры).

Для алюминия и его сплавов в нормальных условиях эксплуатации используют оксидное покрытие (неметаллическое) как антикоррозионное и декоративное.

Ряд металлов и сплавов в условиях климата средних широт могут работать без защитных покрытий: титановые сплавы ВТ-0, ВТ-1; бронзы БрБ2, БрКМц3-1, БрБг; нержавеющие стали Х18Н9Т, ОХ13.

Лакокрасочные покрытия обладают лучшими антикоррозионными свойствами, но меньшей механической прочностью по сравнению с гальваническими. Лакокрасочные покрытия являются, кроме того, декоративными, поэтому выбираются с учетом требований технической

эстетики. В жестких условиях эксплуатации гальванические покрытия используются как подслои лакокрасочных.

Условное обозначение покрытия записывается в примечании на поле чертежа. Металлические и неметаллические покрытия записываются в следующем порядке:

- способ обработки основного металла под покрытие;
- способ получения покрытия;
- толщина;
- материал;
- функциональные или декоративные свойства; дополнительная обработка покрытия.

В обозначении покрытия не обязательно наличие всех перечисленных пунктов.

Пример обозначений:

Хромовое покрытие с подслоем меди толщиной 18 мкм и слоем никеля толщиной 15 мкм, зеркальное

*M18.N15.X.зк.*

Цинковое покрытие толщиной 9 мкм, оксидированное в черный цвет

*Ц9.окс.ч.*

Химическое оксидное покрытие

*Хим.окс.*

Оксидное блестящее покрытие с последующей окраской пленки черным красителем

*Ан.окс.б.черное.*

Комбинированное покрытие - гальваническое и лакокрасочное: защитное кадмиевое толщиной 9 мкм с хромированием и окраска серой пентафталевой эмалью ПФ-218 по II классу для эксплуатации внутри помещения

*Кд 9.хр.*

*эмаль ПФ - 218, серый II . II*

В случае, если какие либо поверхности детали не окрашиваются, на чертеже стрелкой и буквой указывают эти поверхности, а в знаменателе условного обозначения делается дополнительное указание

*Кд 9. хр*

*эмаль ПФ - 218, серый II . II , кроме поверхности А*