

# Герметизация и защитные покрытия

к.т.н. Никаноров А.В.

# Структура лекции

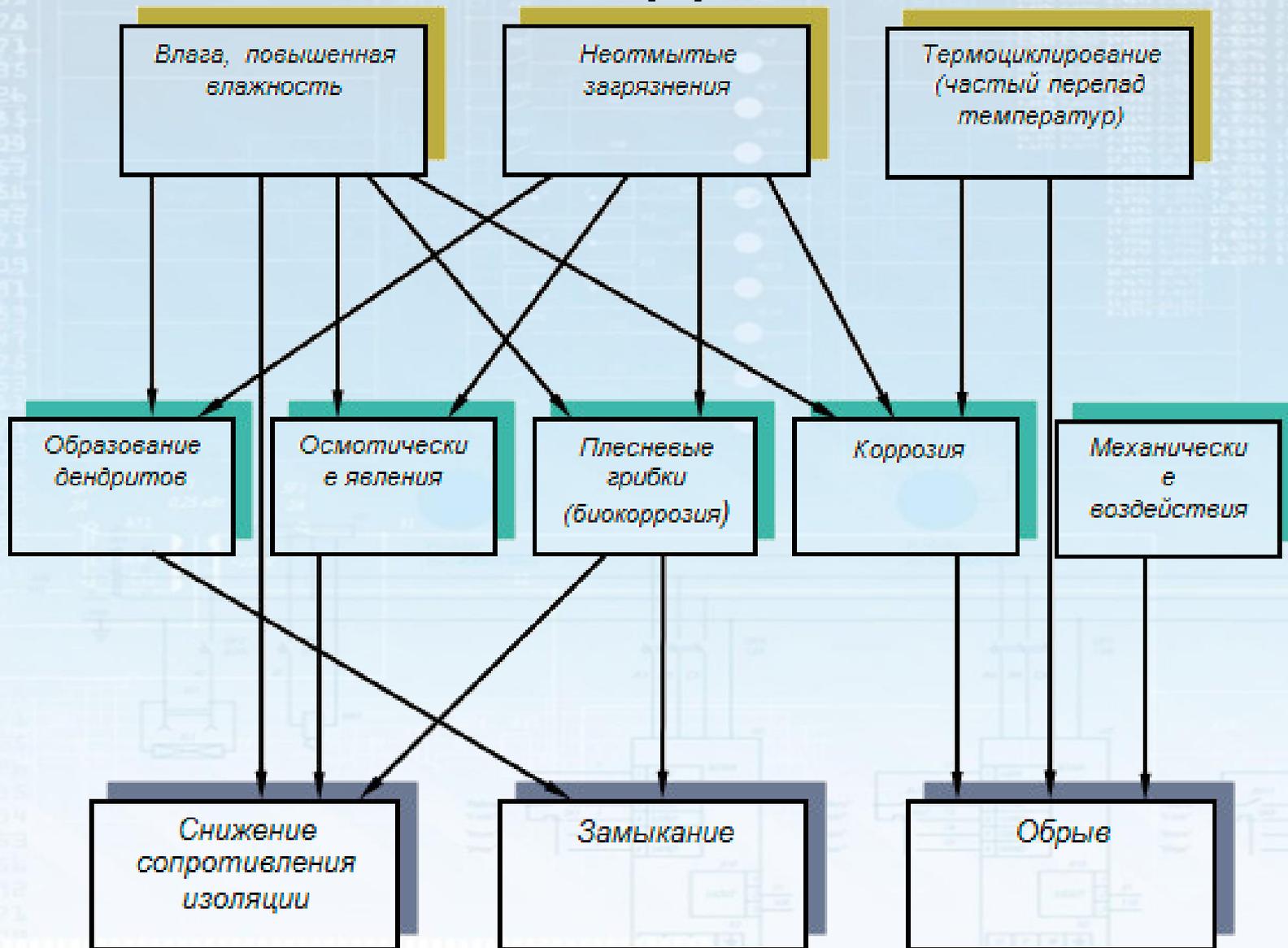
- Воздействующие факторы:
  - Коррозия
  - Влагопоглощение
  - Плесневые грибы
- Защита от воздействующих факторов
  - Защитные покрытия
  - Методы нанесения влагозащитных покрытий
  - Способы герметизации

# Защита ВТ от воздействия агрессивной внешней среды

Влияние климатических факторов на конструкцию



# Причинно-следственные связи снижения надежности ВТ



# Коррозия

Влияние климатических факторов на конструкционные материалы выражается главным образом в возникновении процессов коррозии, что ведет за собой потерю механических и диэлектрических свойств, изменении электропроводности и т. д. Реакция на воздействующий фактор, степень и скорость изменения свойств конструкционного материала зависит от его природы.

Процесс коррозии всегда связан с отдачей энергии, что указывает на самопроизвольный ход реакции, т. е. без затрат энергии извне.

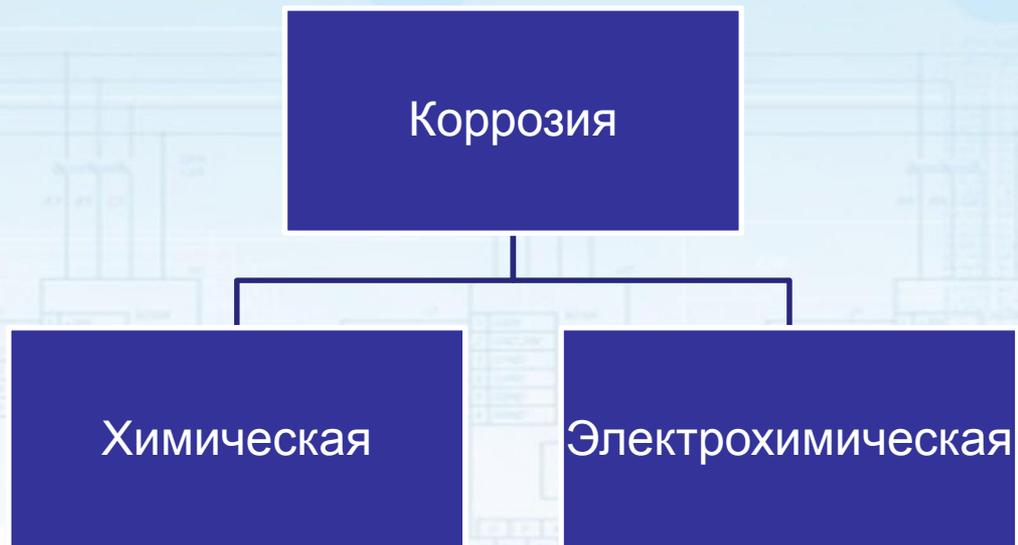


# Коррозия

Процесс коррозии у металлов имеет **химическую** или **электрохимическую** характер, но **причина** во всех случаях одинакова: **переход корродирующего металла в более стабильное первоначальное состояние**, из которого он был получен с затратой большой энергии.

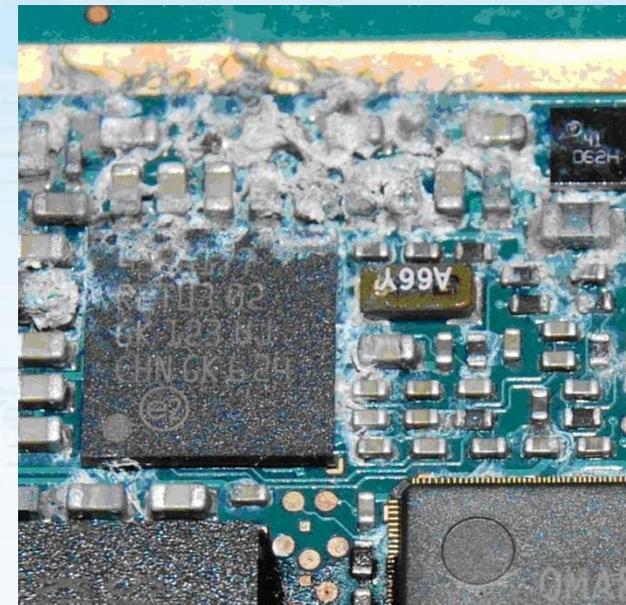
Процесс химической коррозии протекает без участия влаги.

При электрохимической коррозии растворение металла (возникновение новых соединений) происходит с участием электролита, т. е. воды.



# Условия, способствующие электрохимической коррозии

1. Положение металла в ряду активности (чем дальше, тем быстрее происходит коррозия).
2. Примеси ускоряют коррозию.
3. Трещины, неровности, шероховатость.
4. Среда электролита, морская вода.
5. Повышение температуры.



# Коррозия



При **равномерной** коррозии процесс распространяется постепенно от отдельных корродирующих мест по всей поверхности металла.

**Неравномерная** коррозия ограничивается отдельными местами и возникает, например, вследствие нарушения защитного покрытия.

Коррозия **межкристаллическая** характеризуется проникновением вглубь металла путём разрыва структуры и распространением вдоль границ кристаллов.

# Коррозия

Характеристика коррозионной стойкости основных металлов, применяемых при производстве ВТ.

**Алюминий** вследствие самопроизвольного образования на его поверхности стабильной пассивирующей защитной плёнки относится к наиболее устойчивым к атмосферной коррозии металлам. Естественная оксидная плёнка на его поверхности имеет толщину 0,01...0,02 мкм.

Сплавы алюминия с магнием и марганцем отличаются высокой коррозионной стойкостью даже в морской атмосфере, содержащей хлориды.

# Коррозия

**Медь.** Реакция на агрессивную атмосферу заключается в образовании защитного слоя. Однако прочность этого слоя значительно меньше, чем у алюминия, вследствие чего вероятность разрушения, например медных проводников, сравнительно большая. Сплавы меди с никелем, кремнием, оловом и другими металлами более устойчивы к коррозии и сохраняют свои свойства при воздействии влажного тёплого климата, промышленной атмосферы и морского тумана.

**Сплавы олова и свинца,** используемые в качестве припоев, характеризуются средней коррозионной стойкостью. С течением времени эти сплавы покрываются неэлектропроводным пассивным слоем, толщина которого растёт со скоростью 0,43...0,69 мкм/год в промышленной атмосфере, 0,41...0,56 мкм/год на морском побережье и 0,23...0,48 мкм/год при континентальном климате.

# Коррозия

**Сталь.** Скорость её коррозии в значительной мере зависит от состава окружающей атмосферы. Повышенное содержание хлоридов,  $\text{SO}_2$  и  $\text{CO}_2$  (промышленная и морская атмосфера) значительно увеличивает скорость протекания процесса коррозии. На скорость коррозии стали также влияют химический состав, режим термообработки и состояние поверхности.

Наличие в атмосфере кислот, щелочей и солей ускоряет процессы коррозии.

Повышенное содержание углерода в стали снижает стойкость к морскому климату; марганец и сера не изменяют коррозионной стойкости; фосфор способствует возникновению коррозии в промышленной атмосфере; **медь, хром и никель** повышают стойкость к коррозии. Стали с содержанием хрома более 12% - нержавеющие.

# Влагопоглощение

- Воздействие агрессивной атмосферы на **изоляционные материалы** выражается в **поглощении** ими **влаги**, **ухудшения диэлектрических свойств** и **постепенном разрушении**.
- Для различных материалов различаются:
  - Количество проникшей влаги
  - Время её проникновения
- Величина водопоглощения определяется разностью веса образца, насыщенного водой, и веса сухого образца.

# Влагопоглощение

- Проникновение влаги в изоляционные материалы может быть
  - капиллярное
  - диффузионное.
- **Капиллярное проникновение** имеет место в случае наличия в материале грубых микроскопических пор, трещин и других дефектов.

# Влагопоглощение

В микроэлектронике большее значение имеет процесс **диффузионного проникновения**, который заключается в заполнении промежутков между молекулами материала молекулами воды.

При этом перемещение молекул воды происходит в сторону меньшей их концентрации. При повышенной влажности молекулы воды проникают внутрь материала, а в сухой теплой атмосфере - из материала.



Поглощение



Высыхание

## Поглощение влаги

- Поглощение влаги диэлектриком ведет к уменьшению его сопротивления изоляции, увеличению диэлектрических потерь, набуханию и механическим повреждениям. В таблице приведены значения влагопоглощения в процентах для некоторых диэлектриков, применяемых в конструкциях ВТ.

Материал	Влагопоглощение, %	Материал	Влагопоглощение, %
Пеностекло	5	Текстолит	0,8—1,5
Полиамид 68	2,5—10	Поликарбонат	0,16
Капрон	3,5—10	Пресс-порошок К-21-22	0,1
Гетинакс	1—2,5	Пресс-порошок АГ-4	0,02—0,1
Стеклотекстолит	1,5	Полистирол	0,006

# Плесневые грибы

- Один из сильнейших биологических факторов отрицательно воздействуют на работоспособность аппаратуры.
- Для развития плесени необходимы:
  - большая относительная влажность воздуха (80-100%) и
  - температура 25-37 °С.
- Такие условия естественны для стран с тропическим влажным климатом, однако они могут возникнуть искусственно в помещениях, где эксплуатируется аппаратура.

# Плесневые грибы

- Среди материалов, применяемых в микроэлектронной аппаратуре, **наибольшее воздействие** плесень оказывает на те, которые имеют **органическую основу**.
- Изоляционные материалы на основе целлюлозы (прессшпан, текстолит, гетинакс и т. д.) теряют механическую прочность и электрические показатели.
- У текстолита и гетинакса наибольшему воздействию грибков подвергаются места среза.

# Плесневые грибы

- **Лаки**

- наибольшему воздействию плесневых грибов подвергаются **глифталевые лаки**,
- хорошей стойкостью против грибов обладают:
  - **уретановые лаки**
  - **акриловые лаки**

**ГОСТ 26080-84. Радиоэлектронная аппаратура и изделия электронной техники. Общие требования к защите от воздействия плесневых грибов**

# Борьба с плесневыми грибами

- **Способ 1** - использование материалов, **не склонных к образованию на них плесени** (применение этого метода ограничивается возможностями выбора материалов).
- **Способ 2** - **изменение внутреннего климата** в аппаратуре, имеющее цель лишить плесневые грибки благоприятной базы для развития (здесь главным образом требуется принимать меры к снижению влажности воздуха, так как саморазогрев как отдельных микросхем, так и полностью всей аппаратуры почти автоматически лишает грибки благоприятной температуры).
- **Способ 3** - добавление в состав лака или эмали, которыми покрывают поверхность деталей, специальных химических веществ, **фунгицидов**.
  - Пентахлорфенол (применяемая концентрация 2-5 %),
  - Оксихинолят меди (0,1-0,5 %),
  - Салициланимид (2-5%),
  - Фенилортутные соединения (до 0,1 %).

# Способы защиты от воздействия агрессивной внешней среды



# Способы защиты от воздействия агрессивной внешней среды

- Для защиты поверхности металлических и неметаллических материалов от агрессивной внешней среды применяют различные покрытия, которые по назначению делят на три группы:
  - защитные,
  - защитно-декоративные
  - специальные.



# Покрытия

- Защитные покрытия предназначены для защиты деталей от коррозии, старения, высыхания, гниения и других процессов, вызывающих выход аппаратуры из строя.
- Защитно-декоративные покрытия наряду с обеспечением защиты деталей придают им красивый внешний вид.
- Специальные покрытия придают поверхности деталей особые свойства или защищают их от влияния особых сред.

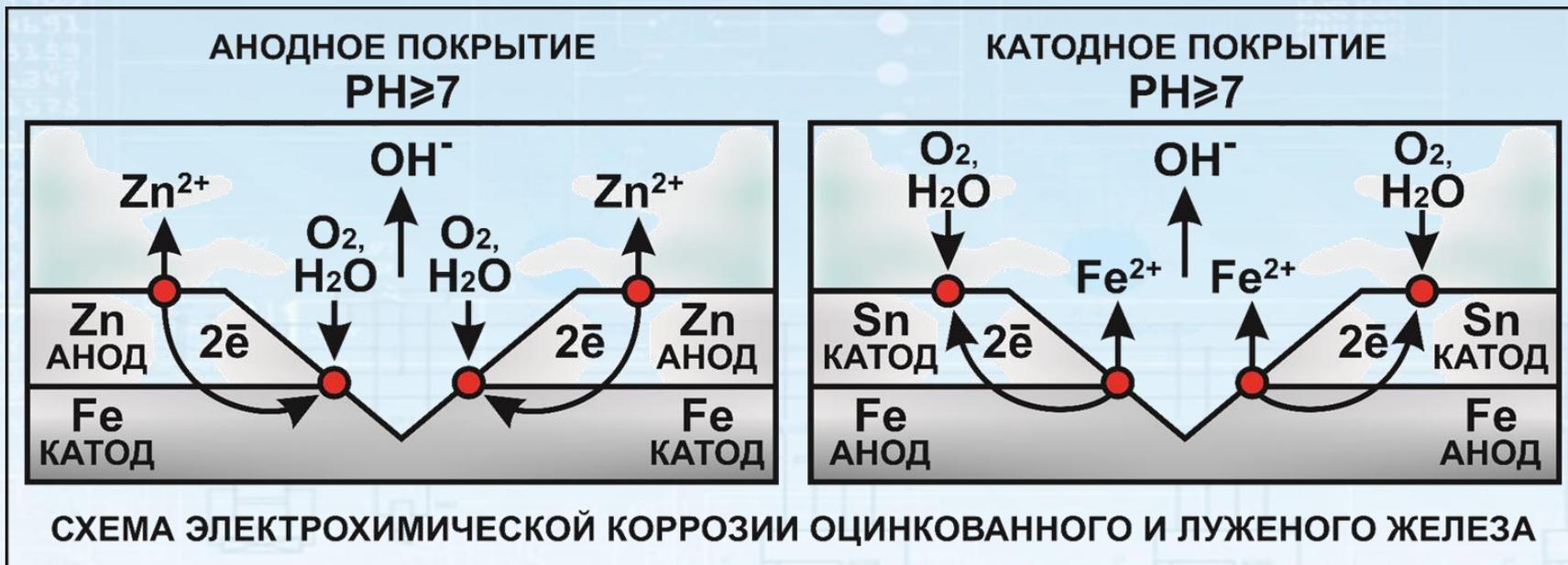
# Покрyтия

- По способу получения покрытия разделяют на:
  - **Металлические** покрытия - покрытия, нанесенные горячим способом, гальванические, диффузионные и металлические на диэлектриках
  - **Неметаллические** покрытия - покрытия лаками, эмалями, грунтовками, противокоррозионное покрытие пластмассами.



# Металлические покрытия

- По характеру защиты поверхности
  - Анодное (электрохимический потенциал металла в данной среде более электроотрицателен, чем электрохимический потенциал основного металла)
  - Катодное (обратное соотношение потенциалов)



РЯД ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ПОЛИНГУ

Cs	K	Ba	Na	Sr	Li	Ca	Mg	Mn	Be	Al	Zn	Cr	Fe	Co	Si	Cu	Ni	Ag	Sn	Hg	B	As	P	H	C	Se	S	I	Br	N	Cl	O	F
0,79	0,82	0,89	0,93	0,95	0,98	1,00	1,31	1,55	1,57	1,61	1,65	1,66	1,83	1,88	1,90	1,90	1,91	1,93	1,96	2,00	2,04	2,18	2,19	2,20	2,55	2,55	2,58	2,66	2,96	3,04	3,16	3,44	3,98

# Выбор покрытия

- Выбор вида покрытия в каждом конкретном случае зависит от материала детали, ее функционального назначения и условий эксплуатации. Основные виды металлических покрытий, их назначение и область применения

<b>Вид покрытия</b>	<b>Назначение и область применения</b>
Цинковое	Защита от коррозии (корпуса, каркасы, резьбовые крепежные изделия) Получение светопоглощающей поверхности
Кадмиевое	Защита от коррозии в морских условиях (корпуса, каркасы, ...)

# Выбор покрытия

<b>Вид покрытия</b>	<b>Назначение и область применения</b>
Никелевое	Защита от коррозии (корпуса, сердечники, резьбовые крепежные изделия) Придание повышенной отражательной способности Увеличение твердости деталей, работающих на трение
Хромовое	Защита от коррозии с декоративной отделкой (корпуса, каркасы, ручки ...) Увеличение твердости деталей, работающих на трение

# Выбор покрытия

- Перечень типов лакокрасочных покрытий и их свойства:

Условия эксплуатации	Условное обозначение (цвет) лакокрасочного материала	Основные свойства и назначение
Тропический климат	Перхлорвиниловые эмали: ХВ-124, ХВ-125 (серый, серебристый, красный)	Покрытия негорючи с удовлетворительной адгезией к металлу и дереву. Выдерживают температуру от $-60$ до $+90^{\circ}\text{C}$ . Предназначены для покрытия загрунтованных поверхностей металлов
	Молотковые эмали группы МЛ-25 (серебристый, серый, голубой, салатный)	Покрытия прочны, тверды с хорошей адгезией к металлам. Выдерживают температуру от $-60$ до $+70^{\circ}\text{C}$ . Предназначены для наружной окраски металлических поверхностей
Воздействие пресной и морской воды	Сополимервинилхлоридные эмали ХС-78 (темно-коричневый, красно-коричневый)	Покрытия твердые, прочные. Выдерживают температуру от $-60$ до $+60^{\circ}\text{C}$ . Предназначены для антикоррозион-

# Выбор покрытия

Условия эксплуатации	Условное обозначение (цвет) лакокрасочного материала	Основные свойства и назначение
Воздействие повышенных температур	<p>Кремнийорганические эмали:</p> <p>ЭМ-9 (серебристый)</p> <p>ЭМ К-2 (зеленый, желтый, черный)</p> <p>ЭМ КО-81 (красный)</p>	<p>Покрытия глянцевые, твердые, прочные. Выдерживают температуру от <math>-60</math> до <math>+230^{\circ}\text{C}</math> (ЭМ-9 — до <math>+400^{\circ}\text{C}</math>). Предназначены для покрытий металлических поверхностей изделия</p>
Требования обеспечения повышенной электроизоляции	<p>Фенольный лак СБ-1с (бесцветный)</p> <p>Бакелитовые лаки А, Б, ЭФ (красно-коричневый)</p>	<p>Выдерживает температуру от <math>-60</math> до <math>+100^{\circ}\text{C}</math>. Предназначен для защиты схем и блоков аппаратуры от влаги</p> <p>Покрытие глянцевое, прочное, устойчиво к кислотам, имеет пониженную стойкость к ударам</p> <p>Выдерживает температуру от <math>-60</math> до <math>+150^{\circ}\text{C}</math>. Предназначены для влагозащиты гетинакса, стеклотекстолита</p>

# Герметизация конструктивных модулей

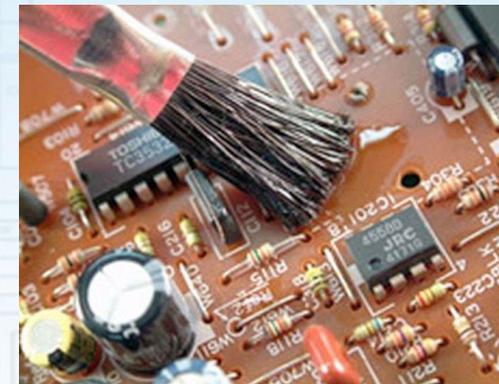
- В зависимости от степени чувствительности тех или иных элементов или узлов к воздействию агрессивной среды и от их конструктивных особенностей применяют различные способы герметизации, отличающиеся как методом исполнения, так и сложностью и стоимостью
- Известны способы герметизации с помощью:
  - а) изоляционных материалов;
  - б) непроницаемых для газов оболочек.

# Защита изделий изоляционными материалами

- Защита изделий изоляционными материалами может производиться:
  - пропиткой,
  - заливкой,
  - обволакиванием
  - опрессовкой.

# Методы нанесения влагозащитных покрытий

- Нанесение погружением
- Ручное распыление из аэрозольных баллончиков
- Нанесение покрытия кистью
- Селективное автоматизированное нанесение



# Пропитка изделий

- **Пропитка изделий** состоит в заполнении имеющихся в них каналов электроизоляционным материалом. Одновременно с заполнением каналов при пропитке на всех элементах конструкции образуется тонкий изоляционный слой, защищающий их от воздействия агрессивной среды.
- Пропитку осуществляют погружением изделий в жидкий изоляционный материал. После извлечения изделия материал отвердевает. Процесс отверждения может происходить при нормальной температуре или с внешним подогревом. При использовании полимеризующихся пропиточных материалов необходимо применять специальные ускорители.

# Выбор материалов для пропитки

- При выборе материалов для пропитки необходимо учитывать их нейтральность к элементам пропитываемого изделия, нетоксичность, влаго- и нагревостойкость
- Одновременно с защитными функциями пропиточный материал повышает электрическую прочность изделия, скрепляет механически его отдельные элементы, во многих случаях улучшает теплопроводность.

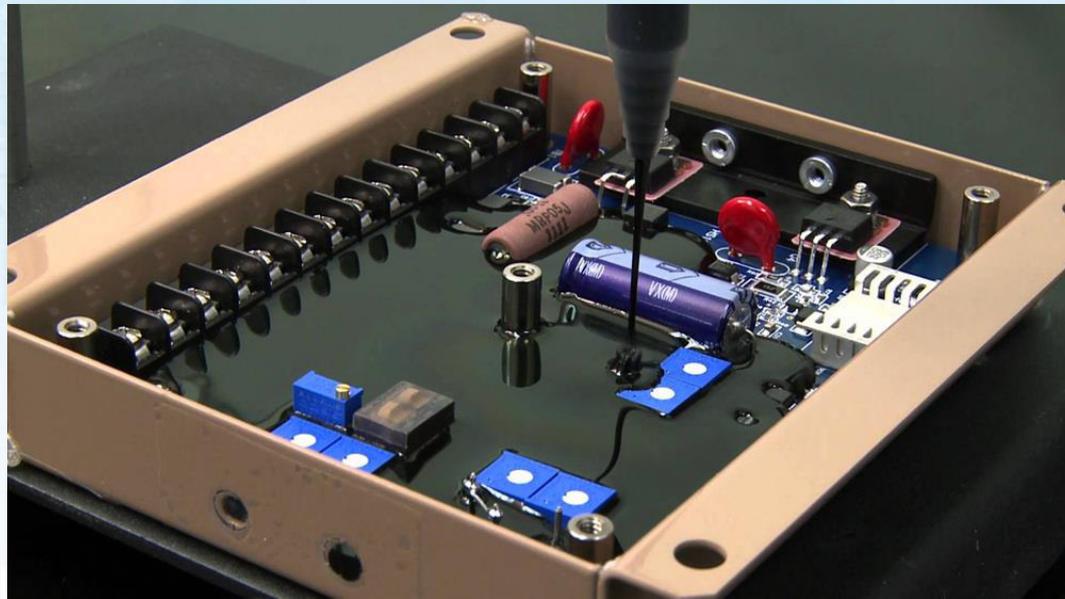
# Герметизация заливкой

После пропитки для повышения стойкости проводят **заливку** и **обволакивание**.

- При **герметизации заливкой** все свободные полости в изделии, в том числе и пространство между элементами и корпусом, заливают электроизоляционным материалом, который после отверждения образует достаточно толстый защитный слой. Заливку изделия можно производить в его постоянном корпусе или использовать для этого специальные разъемные формы, которые после отверждения материала удаляются. Так как заливочный материал имеет большую массу, то при отверждении в нем возникают внутренние напряжения, которые в ряде случаев могут отрицательно сказаться на работоспособности аппаратуры и даже вызвать в ней обрывы проводников и поломку непрочных деталей.

# Герметизация заливкой

- Для устройств, чувствительных к напряжениям, следует применять пластичные электроизоляционные материалы, которые, полимеризуясь, образуют упругую резинообразную массу.
- Обычно заливка составляет 10-20% общего объема изделия, что существенно увеличивает его массу. Поэтому там, где это необходимо, следует применять пенообразующие материалы, содержащие большое число несоединяющихся воздушных полостей.



# Герметизация обволакиванием

- Герметизация обволакиванием по технике исполнения аналогична операции пропитки, однако здесь используют вязкие изоляционные материалы, обладающие хорошей адгезией к элементам изделия. Слой материала, образующегося на поверхности деталей, сравнительно толст (от долей до нескольких миллиметров) и надежно защищает их от воздействия агрессивной среды.

# Алгоритм подбора влагозащитного ПОКРЫТИЯ



# Способ отверждения



# Влагозащитные покрытия

**Акриловые** покрытия являются однокомпонентными, быстро полимеризуются, обеспечивают превосходную защиту от влажности и негативных воздействий для печатного узла. Превосходная гибкость и адгезия. Легко поддаются ремонту. Содержат флуоресцирующие агенты, которые позволяют проконтролировать качество нанесенного и/или отвержденного покрытия в ультрафиолетовом свете.

**Уретановые** покрытия – однокомпонентные, отверждающиеся на воздухе. Не содержат коррозионных компонентов и флуоресцируют под ультрафиолетовым светом для контроля качества нанесения. Отличаются повышенной химической стойкостью. Рекомендуются для применения в технике специального назначения, работающей в сложных условиях.

# Рекомендации по применению компаундов

- Модификация свойств компаундов путем введения наполнителей, пластификаторов, изменения режимов отверждения позволяет снизить внутренние напряжения. Снижение напряжения конструктивными методами достигается использованием демпфирующих прокладок, контейнеров и других элементов.
- Демпфирующие прокладки изготавливаются из резины, эластичных компаундов и пенопластов. Плотность прилегания прокладок обеспечивается технологическими приемами - окунанием, обволакиванием, нанесением демпфирующего слоя методом вихревого напыления и т. д.
- Большое значение имеет выбор размеров и компоновки узлов, подлежащих заливке компаундом в монолитный блок, так как внутренние напряжения увеличиваются с увеличением размеров. В то же время деформации и внутренние напряжения имеют минимальное значение в геометрическом центре отливки. В нем нужно располагать наиболее чувствительные к сжатию детали.

# Испытания на герметичность

- Проверку эффективности герметизации тем или иным материалом осуществляют выдержкой защищенных изделий в течение 100 ч при влажности 98 % и температуре 40°C.
- Если изделие не изменило своих параметров, материал и способ защиты считаются пригодными для его герметизации и влага, проникшая в изделие через герметизирующий слой, изменяет параметры изделия, и ее трудно удалить даже при продолжительной сушке.

# Вакуумно-плотная герметизация

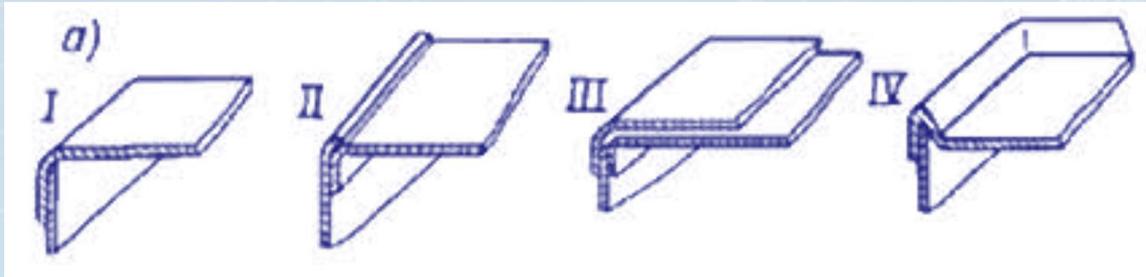
- Защита изделий **непроницаемыми для газов оболочками**. Это наиболее совершенный способ защиты узлов и устройств ВТ, так как кроме эффективной защиты он может обладать возможностью разгерметизации в производственных условиях и при эксплуатации.
- Условия нормальной работы изделий, защищенных вакуумно-плотной герметизацией, зависят не только от качества герметизации, но и от защиты от агрессивных компонентов, входящих в материалы и среду защищаемого объема выделение свободных молекул воды и других агрессивных веществ в герметизированном объеме изделия может свести к минимуму эффективность вакуумно-плотной герметизации.

# Виды

## вакуумно-плотной герметизации

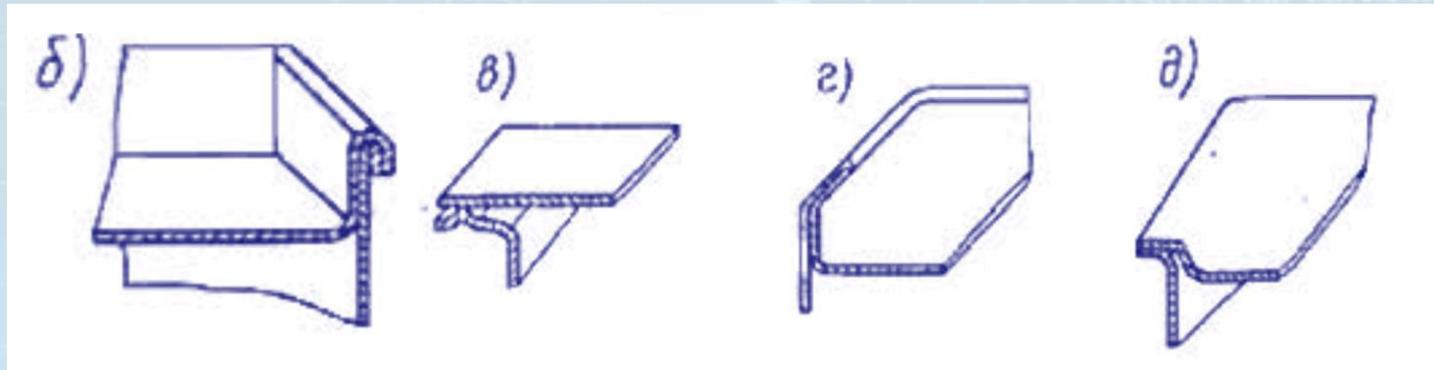
- При разработке герметичных корпусов следует учитывать условия эксплуатации и прежде всего изменение барометрического давления, внешние механические воздействия и возможные перепады температуры.
- Вакуумно-плотная герметизация может быть выполнена с неразъемными и разъемными швами:
  - первую используют для защиты малогабаритных узлов и устройств.
  - вторую - для сравнительно больших блоков, требующих профилактической проверки и нуждающихся в смене ее отдельных элементов.
- Неразъемные герметичные конструкции делают со швами, выполняемыми пайкой, сваркой, клепкой, заливкой, склеиванием или замазкой специальными компаундами (герметиками).

# Паяные швы



- Паяные швы для вакуумно-плотной герметизации корпусов изделий.
- Обычно корпуса изготавливают из холоднокатаной стали (0,3-0,5 мм), латуни (0,25-0,8 мм) и алюминия (0,3-0,8 мм).
- Наиболее простой вариант пайки 1, наиболее сложный - IV.
- Неудачной конструкцией следует считать вариант II и в какой-то степени III, так как для них требуется точное соответствие размеров крышки и корпуса. В противном случае крышка будет либо проваливаться, либо туго входить в корпус. Швы, паянные мягкими припоями, допускают работу при температуре 85<sup>0</sup>С. При большей температуре вследствие перекристаллизации припоя в швах образуются поры и герметичность нарушается.
- Большие перепады температур (от -60 до +85<sup>0</sup>С) вызывают деформацию корпуса, что также может привести к потере герметичности. Для устройств предназначенных для работы при температуре более 85<sup>0</sup>С корпуса следует выполнять из стали, а пайку швов вести твердыми припоями.

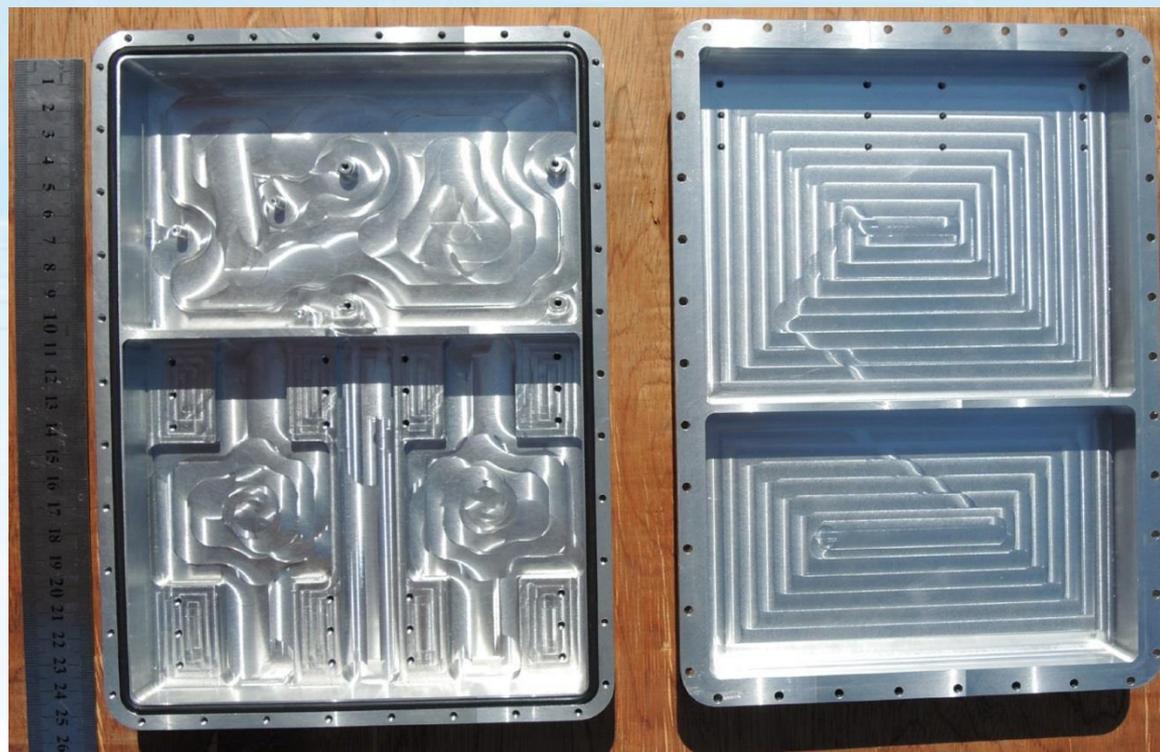
# Сварные швы



- Сварные швы допускают большие механические нагрузки и в ряде случаев более технологичны чем паяные.
- При использовании контактного, роликового и рельефного способов электросварки (в) следует применять стальные листы толщиной 0,25-0,5 мм.
- Для дуговой сварки (г) толщина свариваемых стальных листов должна быть не менее 1 мм.
- Для холодной сварки (д) используют, в основном, алюминий толщиной не менее 0,8 мм.
- Особенность герметичных **сварных** швов - способность выдерживать перепады температур от -60 до +200<sup>0</sup>С.

# Эластичные прокладки

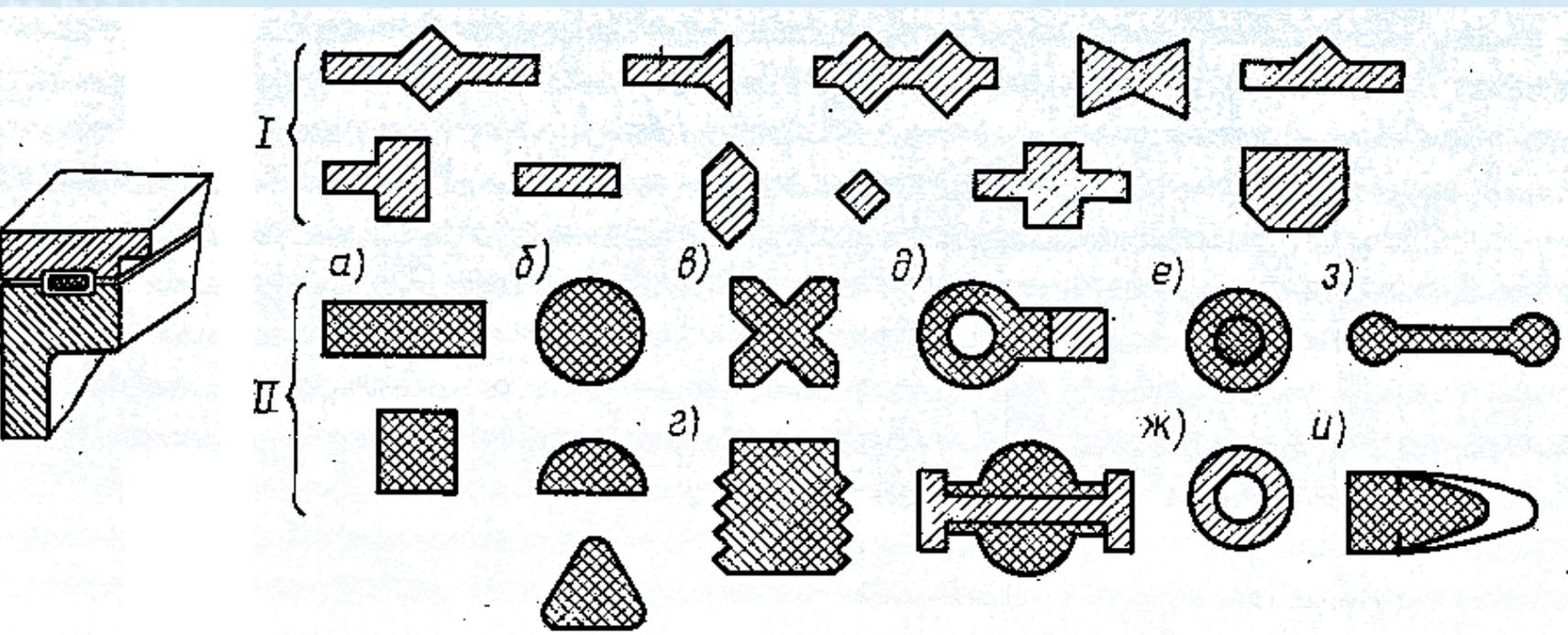
- В разъемных герметичных конструкциях между соединяемыми деталями (корпусом и крышкой) помещают эластичную прокладку (е), а в герметизируемый объем влагопоглотитель, например силикагель. Условие непроницаемости такого герметичного соединения - сохранение во все время его службы контактного давления между прокладкой и соединяемыми поверхностями.



# Эластичные прокладки

Применяют

- металлические (свинец, алюминий, красная медь)
- резиновые прокладки.



# Виды и формы прокладок

- При стягивании винтами металлические прокладки деформируются, в них могут возникнуть напряжения, превышающие предел текучести. При использовании резиновых прокладок уплотнение достигается действием остаточных упругих деформаций. Резиновые прокладки имеют форму сечения круглую, прямоугольную, треугольную и т. д.
- При длительной эксплуатации, широком диапазоне изменений давления и незначительной деформации применяют прокладки, показанные на (а).
- Наиболее распространены прокладки, изображенные на (б); они просты в изготовлении, выдерживают широкий диапазон давлений.
- Прокладка X-образного сечения (в) не требует большого сжатия, используется для низких давлений.

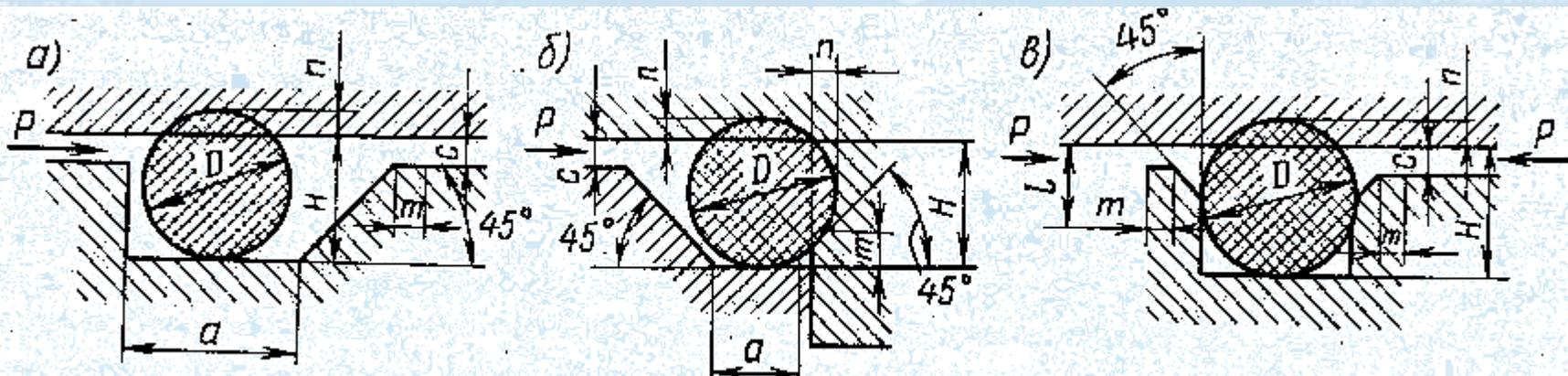


# Виды и формы прокладок

- Прокладка с сечением, приведенным на (г), применяется для принудительных уплотнений с большим сроком службы.
- Резинометаллические прокладки (д) не требуют монтажной канавки, устанавливаются между плоскостями.
- В агрессивных для резины средах применяют тороидальные прокладки, армированные пластмассой (е).
- В прокладку с полым сечением (ж) подается газ под давлением 0,28-0,35 МПа.
- Для уплотнения плоских фланцев с откачкой воздуха из полости между кольцами используется прокладка, показанная на (з).
- Металлическая лента в прокладке (и) служит для защиты резины от воздействия внешней среды, например радиации.

# Виды и формы прокладок

- Для прокладок круглого сечения можно использовать различные конструкции канавок, например с односторонним (а), угловым (б) и двусторонним (в) уплотнениями.



Основные  
размеры

Тип уплотняющего устройства

одностороннее

угловое

двустороннее

*H*  
*a*  
*n*  
*c*  
*m*  
*l*

$(0,85 - 0,96)D$

$(0,85 - 0,95)D$

$(0,85 - 0,95)D$

$(0,6 - 0,9)D$

$0,5D$

$D$

$(0,05 - 0,15)D$

$(0,05 - 0,15)D$

$0,05 - 0,15[(a + H)/2]$

$0,05D$

$0,05D$

$0,05[(a + H)/2]$

$0,2D$

$0,2D$

$0,2D$

—

—

$(0,2 - 0,4)D$

# Особенности применения резиновых прокладок

При использовании резины в качестве прокладок следует помнить, что для этого материала характерно свойство релаксации, т.е. постепенного падения внутренних напряжений при неизменном значении деформации. Причина релаксации – замедленная перестройка молекулярной структуры деформированной резины (через двадцать минут напряжение снижается на 14 %, через двое суток – на 25 % и стабилизируется).

При повторном обжатии релаксация меньше (всего 6 % за двадцать суток). В связи с этим узел уплотнения с резиновой прокладкой следует подтягивать через двое суток после сборки.

Резина непористая практически несжимаема, при давлении  $800 \text{ кН/м}^2$  сжатие составляет около 3 %.

Температурный коэффициент расширения резины равен  $500 \cdot 10^{-6}$  град. $^{-1}$ , что почти в 40 раз больше, чем у стали. Это надо учитывать при конструировании узла уплотнения, предназначенного для работы в широком диапазоне температур.

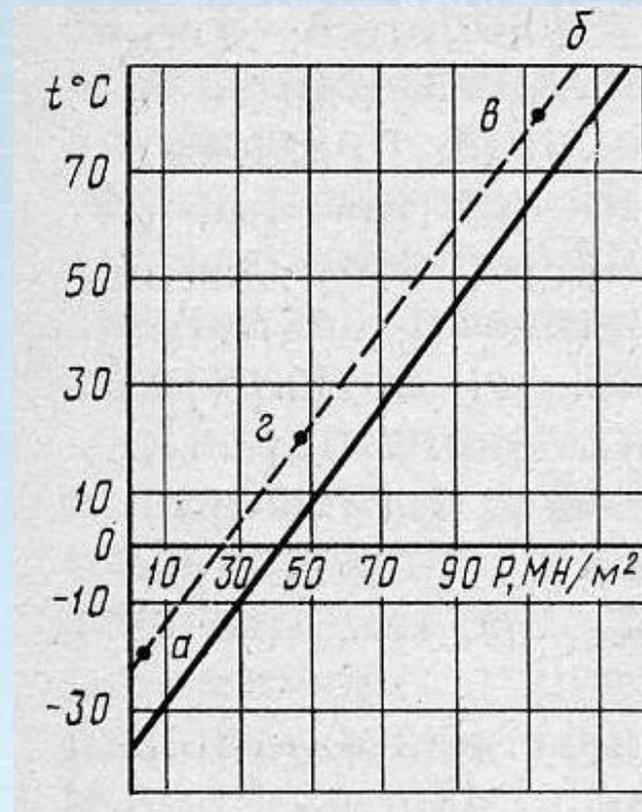
# Особенности применения резиновых прокладок

Действующая на герметизированные блоки температура определяет материал прокладки.

С понижением температуры упругость эластичных прокладок уменьшается, они твердеют и уменьшаются в объеме, что приводит к снижению контактного давления.

С повышением температуры – опасно растут остаточные деформации.

На графике показана зависимость напряжения сжатия герметизированного соединения от температуры. Пользуясь этим графиком, можно определить напряжение в заданном диапазоне температур эксплуатации.



# Выбор резиновых прокладок

Пример. Пусть:

- 1) минимальная температура эксплуатации  $-20$  С. Задаваясь значением наименьшего напряжения в резине при этой температуре ( $5$  МН / м<sup>2</sup>), достаточного для сохранения герметичности, найдем соответствующую точку **a** на координатной сетке. Через эту точку проведем линию **a-б** параллельно основной наклонной линии графика;
- 2) максимальная температура эксплуатации  $+80$  С. На пересечении штриховой линии с ординатой  $+80$  С поставим букву **в**. Ей соответствует давление  $113$  МН/м<sup>2</sup>. Отсюда можно найти конструктивные размеры узла уплотнения герметизированного блока. В цехе блок герметизируют при температуре  $+20$  С. Этой температуре соответствует точка **г** на штриховой линии, а отсюда необходимое напряжение при затягивании узла уплотнения  $48$  МН/м<sup>2</sup>.

# Выбор резиновых прокладок

- Примером резиновых шнуров для герметизации радиоэлектронной аппаратуры могут служить шнуры круглого, квадратного и прямоугольного сечения, размеры которых определяет ГОСТ.
- В зависимости от назначения шнуры изготавливают из кислотощелочестойкой, теплостойкой, морозостойкой и маслобензостойкой резины.

# Выбор резиновых прокладок

- Теплостойкие шнуры предназначены для использования в аппаратуре, эксплуатируемой в диапазоне от  $-30$  до  $+90$  °С, и сохраняют упругие свойства при воздействии водяного пара с температурой до  $+140$  °С.
- Холодостойкие шнуры сохраняют работоспособность от  $-45$  до  $+50$  °С.
- Маслобензостойкие шнуры не теряют упругих свойств при воздействии масла и бензина и сохраняют работоспособность в диапазоне температур от  $-30$  до  $+50$  °С.
- Размеры шнуров, определяемые стандартом:
- а) диаметр круглого и сторона квадратного сечения 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0; 16,0; 20,0; 25,0 мм;
- б) соотношение высоты и ширины шнуров прямоугольного сечения выбирают из табл.

Высота шнура, мм	Ширина шнура, мм						
	6	8	10	12	16	20	25
3	+	+	+	+	+	+	—
4	+	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+	+
6	—	+	+	+	+	+	+