



# Лекция 2

---

**Внешние факторы  
отказов технических систем техносферы.**



# Вопросы

---

- 1. Классификация внешних воздействующих факторов.
- 2. Воздействие внешних факторов на технические системы техносферы.
- 3. Старение материалов.
- 4. Факторы нагрузки.



# Вопрос №1

---

Классификация внешних  
воздействующих факторов.

- В зависимости от этапа эксплуатации изменяются **показатели надежности системы.**


Отказы технических устройств определяются:

- **внешними (человек, техника, среда) факторами** (климат, нагрузки, состояние среды, механические, химические, ошибки и саботаж персонала, восстановительные воздействия и другие воздействия),
- **внутренними факторами** (конструкция, материалы),

С позиций энергоэнтروпийной концепции опасности

следует выделить три источника воздействия:


- действие энергии от внешних источников, включая человека, выполняющего функции;
- внутренние источники, связанные как с рабочими процессами, протекающими в системе, так и с работой отдельных частей системы;
- потенциальная энергия, которая накоплена в материалах и элементах системы в процессе их изготовления (внутренние напряжения в отливке, монтажные напряжения).



Различные виды энергии вызывают в элементах системы процессы, связанные со сложными **физико-химическими явлениями**, приводящими к деформации, износу, поломке, коррозии и другим видам повреждений. Возникновение повреждений влечет за собой изменение выходных параметров системы и **отказ**.

Отказы в технических системах и развитие аварии могут происходить и по причине **внешних воздействий**, не связанных с производственными процессами.


- **Внешние воздействия, связанные с:**
  - автомобильным и железнодорожным транспортом;
  - работой станций по заправке горючим;
  - работой соседних предприятий, в особенности тех, которые используют легковоспламеняющиеся или взрывоопасные вещества;
  - механическими ударами.



Ошибки, совершаемые персоналом, так же разнообразны, как и конкретные производственные функции. Наиболее часто встречаются следующие ошибки:

- ошибки обнаружения;
- ошибки в оценке ситуации и принятии решения;
- ошибки выполнения действия (последовательности, пропуск, включение лишнего, нарушение правил);
- ошибки в ориентации (недостаток информации, избыток информации);
- ошибки связи.





Для элементов технических систем, расположенных вне зданий и сооружений, определяющими и дестабилизирующими внешними факторами являются климатические:


- атмосферное давление,
- температура,
- влажность,
- осадки (дождь, снег, град),
- пыль, песок,
- солнечное излучение,
- поток воздуха.



## Вопрос № 2

---

Воздействие внешних факторов на  
технические системы техносферы



Воздействие климатических факторов вызывает определенного вида **отказы**, возникающие в результате случайных перегрузок, несовершенства структурной схемы машины и др.

Ухудшение **эксплуатационных свойств материалов и условий работы** механизмов машин вызывает **пусковые и нагрузочные отказы** и ускоряет появление внезапных и постепенных **отказов**.

- При оценке показателей надежности **технических изделий**, входящих в системы, необходимы данные об изменениях температуры окружающего воздуха во времени.
- Характер изменения температуры во времени описывается случайным процессом:

$$T(t) = \bar{T}(t) + \psi(t),$$

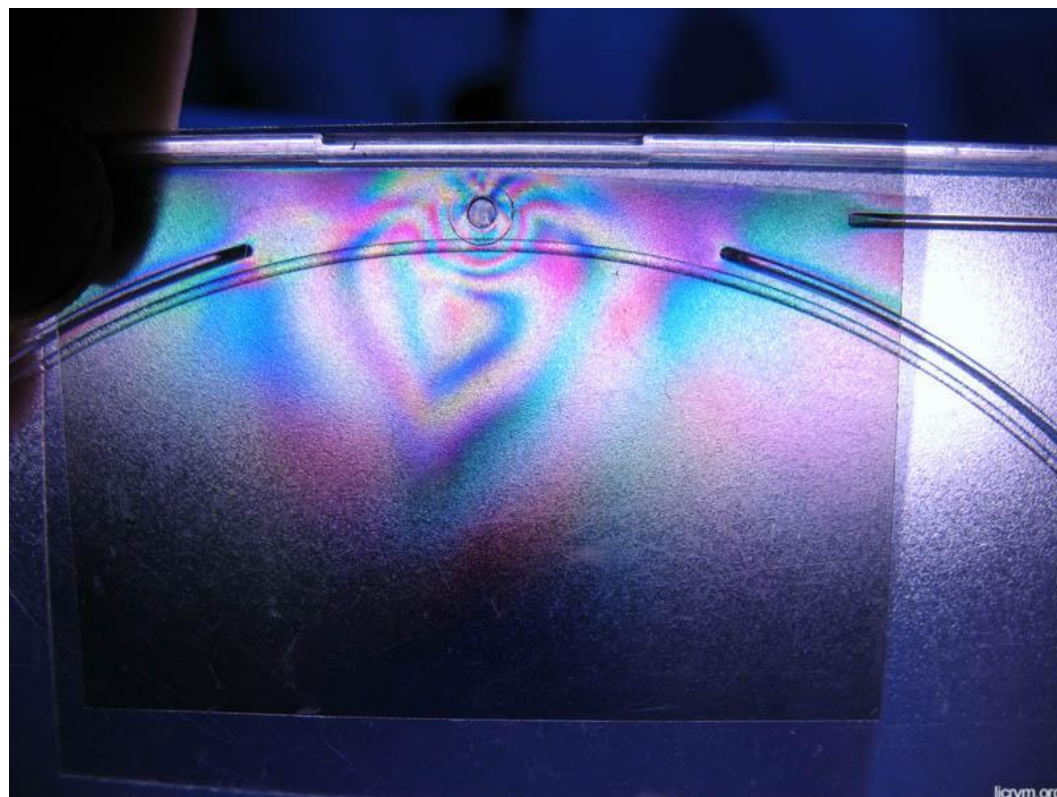
где:


$\bar{T}$  - средняя температура, соответствующая времени  $t$ , С;

$t$  - время;

$\psi(t)$  - случайная составляющая температуры, соответствующая времени  $t$ , °С.

При резком изменении температуры воздуха происходит неравномерное охлаждение или нагрев материала, что вызывает дополнительные напряжения в нем. Наибольшие напряжения возникают при резком охлаждении деталей.





Например, для металла существуют экспериментальные методы определения остаточных напряжений. Они делятся на механические и физические.

Механические методы основаны на принципе упругой разгрузки объема металла путем его разрезания.

Физические - не связаны с обязательным разрушением металла, в отличие от механических. Они основаны на изменении свойств металла, происходящего под влиянием остаточных напряжений.



Одним из наиболее распространенных физических методов, является **рентгенографический**.

Преимуществом рентгенографического метода является возможность его применения при исследовании напряжений в малых зонах деталей сложной конфигурации без их разрушения.

Существуют и другие неразрушающие методы, среди них можно выделить: магнитоупругий, ультразвуковой, электростатический, голографический и т.д.

Относительное удлинение или сжатие отдельных слоев материала определяется зависимостью:

$$\varepsilon_t = \alpha_t (t_2 - t_1),$$

где:

$\alpha_t$  - коэффициент линейного расширения;

$t_1$  - температура в первом слое;

$t_2$  - температура во втором слое;

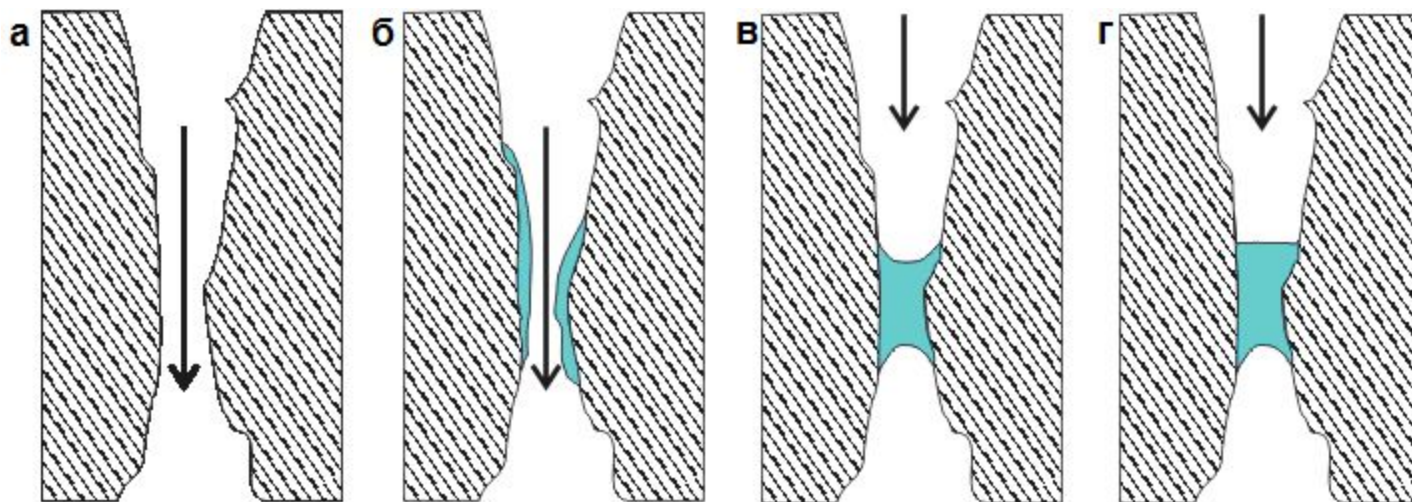
$$t_2 = t_1 + (\partial t / \partial l) \Delta l ;$$

$l$  - расстояние между слоями.

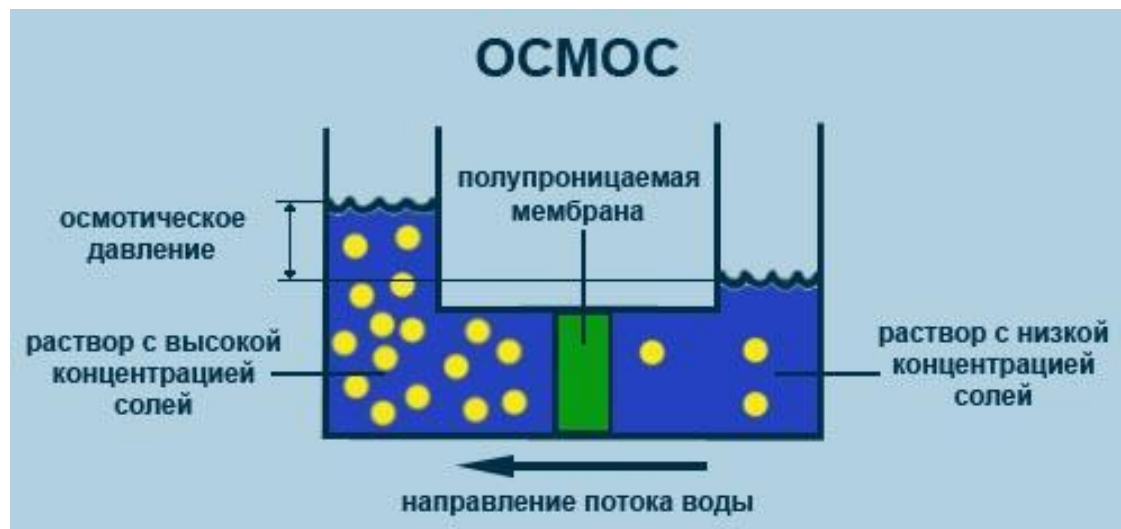


Характер неблагоприятного влияния **влажности воздуха** на материал зависит от процентного содержания влаги в воздухе. При большом содержании влаги в воздухе (более 90 %) она снижает служебные свойства материалов, проникая внутрь этих материалов или образуя на их поверхности пленки жидкости. При малом содержании влаги в воздухе (ниже 50 %), влага, содержащаяся в материалах, испаряется в воздух, что также изменяет свойства материалов: они становятся хрупкими, в них появляются трещины.

- Наиболее активно влагу из воздуха поглощают гигроскопические материалы. Внутрь материала влага может проникать при поглощении ее материалом (**капиллярная конденсация**) или проникновением в структуру полимера (в межмолекулярные промежутки), а также через трещины и крупные поры в материале.



Насыщение влагой таких материалов, как резина и некоторых других, происходит путем **осмоса**.



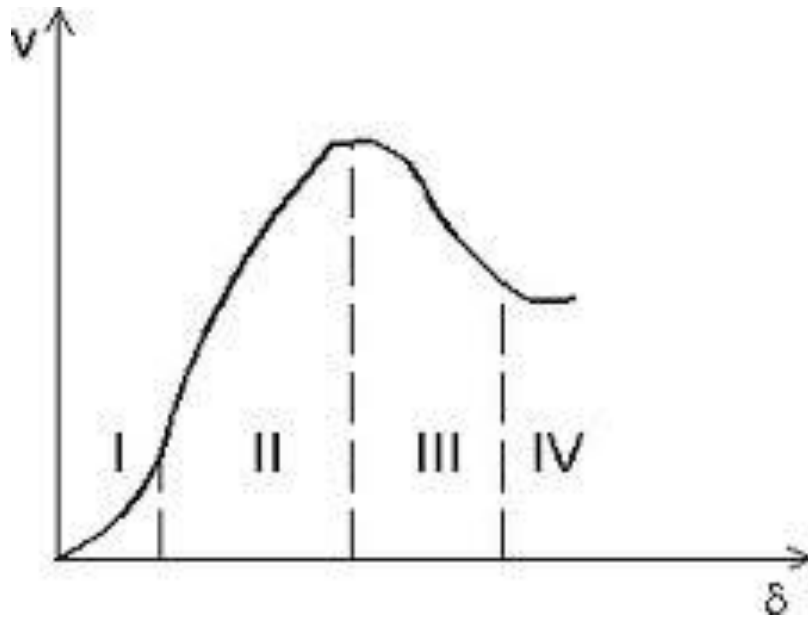
**О́смос** процесс односторонней диффузии через полупроницаемую мембрану молекул растворителя в сторону бóльшей концентрации растворённого вещества (меньшей концентрации растворителя).

При осаждении влаги на металлические поверхности создаются благоприятные условия для атмосферной коррозии металлов. Этот вид коррозии является наиболее распространенным, и на его долю приходится около половины общих потерь металла от коррозии.

CATERPILLAR  
бросили в  
безжизненной  
пустыне на  
берегу океана.  
И вот, что с ним  
стало за 40 лет



При повышении влажности воздуха увеличивается толщина пленки влаги на поверхности металла, которая определяет виды атмосферной коррозии.



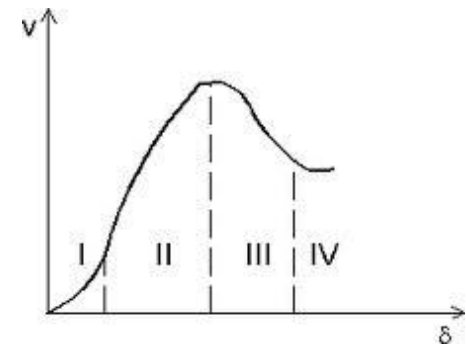
Сухая коррозия (**участок I**) происходит при отсутствии пленки влаги на поверхности металла.


При влажной коррозии (**участок II**) скорость коррозии резко повышается.

При мокрой коррозии (**участок III**) толщина пленки влаги наибольшая (при 100 % влажности воздуха).

Снижение скорости коррозии в этом случае объясняется затруднительностью диффузии кислорода воздуха через толстую пленку влаги.

**Участок IV** - случай погружения металла в жидкость.





Наибольшее влияние атмосферное давление оказывает на конструкционные материалы систем, используемых при работе в высокогорных условиях. С ростом высоты снижается электрическая прочность воздуха (ухудшаются диэлектрические свойства).

Вероятность пробоя увеличивается на 30 % при снижении давления с 1013 до 709 гПа (линейная зависимость), что отвечает подъему на высоту около 3000 м над уровнем моря. Пониженное давление также влияет на полупроводники, вызывая ухудшение теплоотдачи и уменьшение пробивного напряжения.


На технические изделия, расположенные вне помещений, действует ветер и ледяной дождь. При обледенении увеличивается размер и масса изделий, что приводит к возрастанию действующих на них аэродинамических и физических нагрузок. Кроме того, гололед и гололедица, действуя на влажные гигроскопические материалы, вызывают образование частичек льда в порах, что снижает электрическое сопротивление этих материалов.





Как следствие песчаных бурь, в воздухе периодически содержится значительное количество песка. Перемещаясь в воздухе, частицы диаметром 0,1—2000 мкм при контакте с открытыми поверхностями материалов, при попадании в смазочные материалы оказывают на материалы истирающее воздействие. Твердые частицы пыли и песка способны многократно увеличивать скорости абразивного изнашивания контактирующих поверхностей.





Существенное влияние на конструкционные материалы оказывают содержащиеся в атмосфере коррозионные агенты или вещества интенсифицирующие процессы коррозии. Основными повреждающими веществами являются:

- катион водорода  $H^+$ ,
- диоксид серы,
- оксиды азота,
- формальдегид,
- озон,
- пероксид водорода.

Большое воздействие на конструкционные материалы оказывают биологические факторы. Наиболее опасными являются плесневые грибы, споры которых находятся в воздухе.





# Вопрос №3

---

Старение материалов.

Старение материалов обусловлено в основном рекристаллизацией материалов, химическими реакциями, коррозионными процессами которые, вызывают изменение начальных свойств материалов. Эти изменения могут привести к повреждению элемента и к опасности возникновения критического отказа системы. Старение материалов вызывает снижение значений их характеристик во времени.



Для расчета надежности необходимо знать скорость протекания процесса повреждения  $f(g)$  или степень данного повреждения  $U(t)$  в функции времени.

$$dU / dt = f(U),$$

Такие зависимости могут быть получены на основе рассмотрения физики процесса или экспериментальным путем.

## Основные виды старения:

- **Механическое старение металлов** в основном связано с диффузией атомов металла. Особое значение имеет старение стали.
- **Магнитное старение** приводит к постепенному изменению магнитных свойств под действием переменных магнитных полей, температурных перепадов, вибрации и иных факторов.
- **Старение полимеров** - это деструкция макромолекул (либо, наоборот, их сшивание) под действием тепла, излучений, воды, воздуха и других факторов.

Процесс старения, проявляющийся при эксплуатации систем как *случайный* процесс. Это связано с двумя основными причинами.

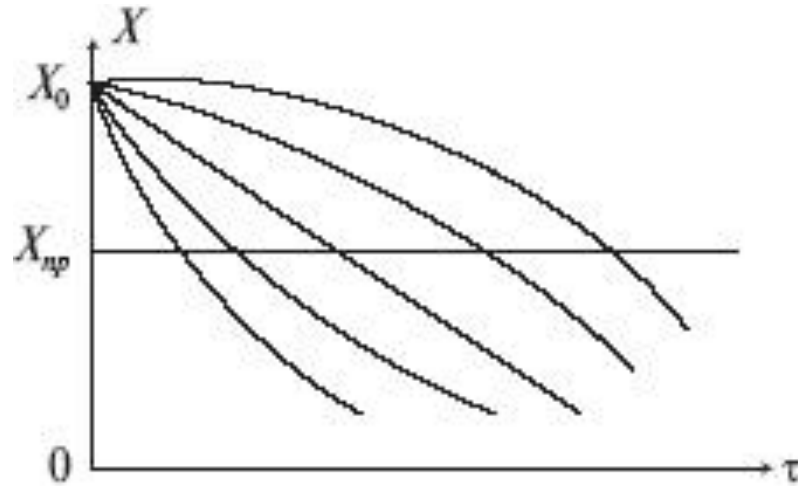



Схема снижения свойств материалов в процессе старения





**Во-первых**, начальные свойства материала и параметры элемента имеют рассеяние, так как являются продуктом некоторого технологического процесса, который может функционировать лишь с определенной точностью и стабильностью (недостатки технологии изготовления).


**Во-вторых**, стохастическая природа процесса старения связана с широкой вариацией режимов работы и условий эксплуатации. В результате зависимости, описывающие процессы старения, становятся функциями случайных аргументов - нагрузок, скоростей, температур и т. п.



# Вопрос №4


---

Факторы нагрузки

- 
- *Механическая энергия* приводит к изнашиванию и искажению первоначальной формы элементов, и при достижении определенных отклонений от первоначальных значений возникает отказ.

## **К причинам механических повреждений элементов и систем в целом относятся:**


- недостатки конструкции, не обеспечивающие их целостность при перепадах внутреннего давления, действию внешних сил, коррозии, изменении температуры, знакопеременных нагрузках;
- коррозия и удары;

- 
- отказы таких узлов, как насосы и компрессоры, вентиляторы;
  - неисправности в системе контроля (датчики давления и температуры, индикаторы уровня, приборы управления и т. д.);
  - неисправности в системе безопасности (предохранительные клапаны, системы сброса давления, системы нейтрализации и т. д.);
  - нарушение сварных швов и соединительных фланцев.

Параметром, определяющим степень нагрузки составляющих систему элементов, зависящей от его режима работы, является коэффициент нагрузки, представляющий собой отношение рабочей нагрузки ( $A_p$ ), действующей на элемент, к номинальному значению нагрузки ( $A_n$ ), обусловленному нормативами (техническими условиями):

$$K_n = A_p / A_n.$$

Расчеты значений  $K_n$  для элементов различных систем не всегда просты, и в ряде случаев необходимы экспериментальные исследования.



*Химическая энергия* вызывает процессы коррозии в резервуарах и трубопроводах агрегатов химической промышленности, кузовов автомобилей. Повреждение стенок резервуаров и кузова агрегата может привести вначале к ухудшению выходных параметров, а затем, к полному выходу из строя системы.

- В радиоэлектронной и электрической аппаратуре в различных режимах ее работы может изменяться *электрическая нагрузка* на составные элементы, в связи с чем (при прочих равных условиях эксплуатации) меняется значение интенсивности их отказов.