

# НАДЕЖНОСТЬ сельскохозяйственной техники

# ПОНЯТИЕ О НАДЕЖНОСТИ

- **Наука о надежности техники** изучает качественные и количественные закономерности изменения технического состояния объектов, возникновения отказов и на основании этого определяет пути их предупреждения и устранения, обеспечивающие с наименьшими затратами труда и средств необходимую продолжительность их надежной работы.
- **Цель курса** – научить будущих инженеров обеспечивать эксплуатационные показатели сельскохозяйственной техники на протяжении заданного времени при оптимальных затратах материальных и трудовых ресурсов при проектировании, изготовлении, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте.



**Повышение надежности машин** - одна из важнейших народнохозяйственных задач, от решения которой во многом зависит эффективность использования техники. Решение проблемы надежности позволит экономить огромные средства на поддержание техники в работоспособном состоянии, снизить убытки от простоев машин и обеспечить безопасность людей.

Наука о надежности, выросшая из проблемы **надежности подшипников качения**, родилась в **1949 - 1950** годах.

Она базируется на фундаментальных и прикладных науках. Это прежде всего **теория вероятностей** и **математическая статистика**, **теория симметрии**, учение об объемной и поверхностной прочности материалов деталей машин. Широко используются в теоретических основах надежности достижения таких наук, как **физика** твердого тела, **химия** и т. п., которые служат теоретической основой современного металловедения, а также других наук.



# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ГОСТ 27.002-89 совместно с ГОСТ 18322-78 и другими устанавливает достаточно четкую терминологию надежности, которая обязательна для применения во всех видах документации и литературы, входящих в сферу действия стандартизации или использующих результаты этой деятельности. Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин. Применение терминов - синонимов стандартизованного термина не допускается.

Терминология по надежности в технике распространяется на любые технические объекты — изделия, сооружения и системы, а также их подсистемы, рассматриваемые с точки зрения надежности на этапах проектирования, производства, испытаний, эксплуатации и ремонта.

**Объект** - предмет определенного целевого назначения. В теории надежности рассматриваются следующие обобщенные объекты:

**изделие** - единица продукции, выпускаемая данным предприятием, цехом и т.д., например, подшипник, ремень, станок, автомобиль;

**элемент** - простейшая при данном рассмотрении составная часть изделия, в задачах надежности может состоять из многих деталей;

**система** - совокупность совместно действующих элементов, предназначенных для самостоятельного выполнения заданных функций.



**Продукция** - это материализованный результат процесса трудовой деятельности, полученный в определенном месте за определенный интервал времени и предназначенный для использования потребителями в целях удовлетворения их потребностей как общественного, так и личного характера. Продукция - обобщающееся понятие и бывает двух видов: изделия и продукты.

**Изделие** (как уже отмечалось) - единица промышленной продукции, количество которой, как правило, исчисляется в штуках или экземплярах.

**Продукт** - результат работы предприятия, количество которого характеризуется непрерывной величиной, исчисляемой, например, в килограммах, тоннах, кубических метрах и т. п.

**Свойство продукции** - объективная особенность, которая может проявляться при создании, эксплуатации или потреблении продукции.

**Эксплуатация** - термин, рекомендуемый для применения к объектам или изделиям, у которых в процессе использования расходуется ресурс.

**Потребление** - это расход продуктов и изделий в процессе их использования.

**Техническое обслуживание** - комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании по назначению, ожидании, хранении и транспортировании.

**Ремонт** - комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности изделий и восстановлению ресурсов изделий или их составных частей.

**Восстановление** - процесс перевода объекта в работоспособное состояние из неработоспособного состояния.

С точки зрения восстановления работоспособности объекты можно разделить на ремонтируемые и неремонтируемые, восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

*Ремонтируемый объект* - объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической, ремонтной или конструкторской документацией.

*Неремонтируемый объект* - объект, ремонт которого не возможен или не предусмотрен нормативно-технической, ремонтной или конструкторской документацией.

*Восстанавливаемый объект* - объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической или конструкторской документации.

*Невосстанавливаемый объект* - объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической или конструкторской документации.

Объект может находиться в исправном и неисправном, работоспособном и неработоспособном состоянии, а также в предельном состоянии.

*Исправное состояние* - состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической или конструкторской документации.

*Неисправное состояние* - состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической или конструкторской документации.



**Работоспособное состояние** - состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют всем требованиям нормативно-технической или конструкторской документации.

**Неработоспособное состояние** - состояние объекта, при котором значение хотя бы одного заданного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической или конструкторской документации.

**Предельное состояние** - это состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или не целесообразна, либо восстановление его работоспособности невозможно или нецелесообразно.

**Критерий предельного состояния** – признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией.

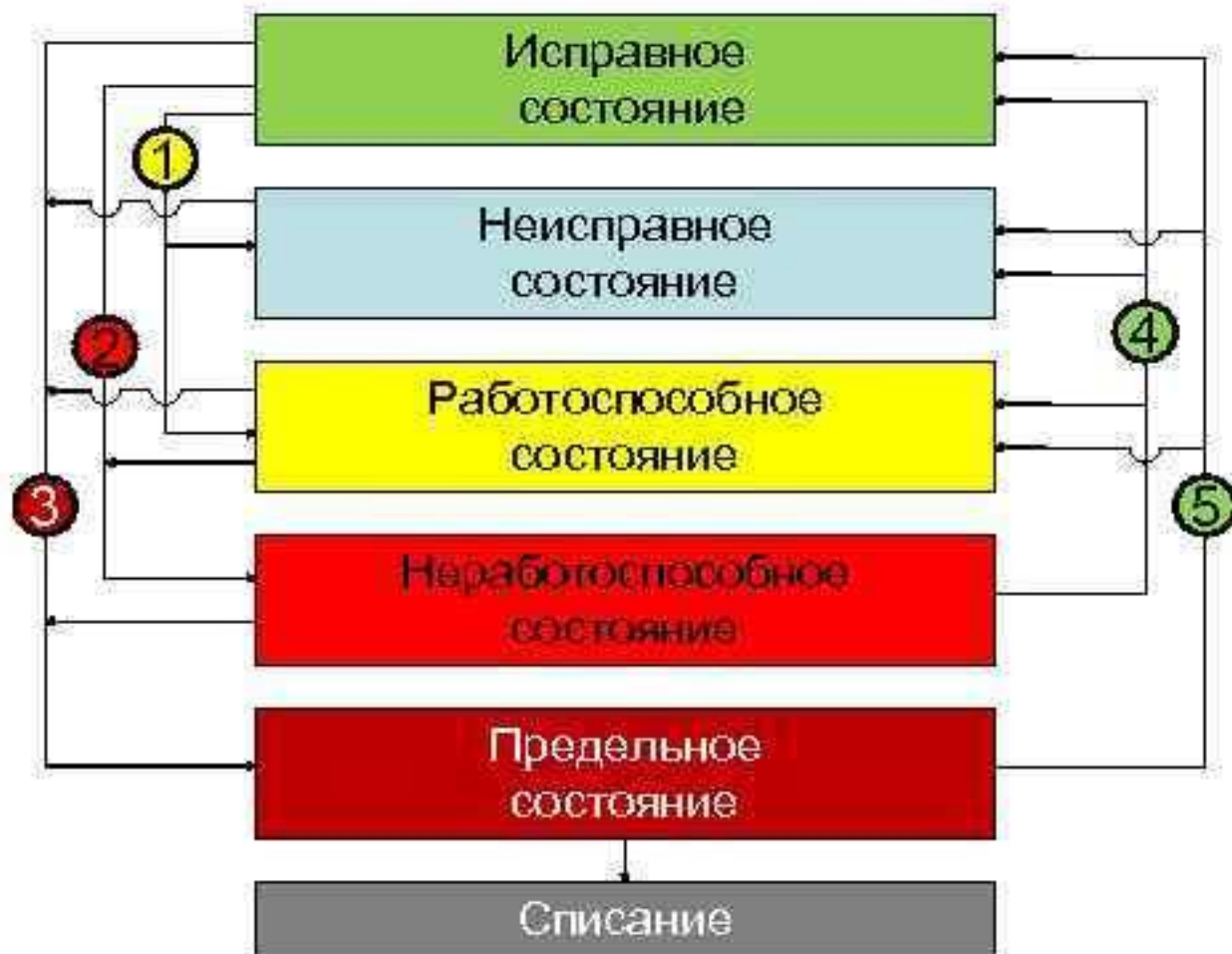
Каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям называют **дефектом**.

**Дефектное изделие** - изделие, имеющее хотя бы один дефект.

**Повреждение** - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

**Отказ** - событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния.

# СХЕМА ОСНОВНЫХ СОСТОЯНИЙ ОБЪЕКТА И СОБЫТИЙ



1 – повреждение; 2 – отказ; 3 – переход объекта в предельное состояние;  
4 – восстановление; 5 - ремонт



# ФИЗИЧЕСКОЕ СТАРЕНИЕ МАШИН

Машины как и все в природе изнашиваются, стареют и, отслужив определенный срок, прекращают свое существование.

**Старение** - следствие изнашивания, его последствие - *изменение потребительских свойств и качественных характеристик машины.*

Различают **физическое** и **моральное** старение машин.

**Физическое старение машин** - *результат изменения начальных свойств, нарушения конструктивных связей и нормального функционирования их элементов.* Оно бывает двоякого рода:

**физическое старение первого рода** представляет собой постепенное изменение размеров, формы и других параметров макро- и микрогеометрии отдельных деталей в результате изнашивания, что приводит к изменению технико-экономических показателей всей машины;

**физическое старение второго рода** происходит под влиянием рабочих процессов и сил природы и, вызывая общий износ машины, возникает в отдельных сборочных единицах и деталях. Оно происходит при бездействии машины: металлические части подвергаются коррозии, а детали из пластмасс, резины стареют в результате воздействия света, температуры и других факторов. Степень этого старения зависит от соблюдения правил и времени хранения машин.



# МОРАЛЬНОЕ СТАРЕНИЕ МАШИН

**Моральное старение машин** - это уменьшение стоимости действующей техники под влиянием технического прогресса. Оно также проявляется в двух формах.

**Моральное старение первой формы** - это обесценивание техники ввиду постоянного роста производительности труда в отраслях, производящих машины, и в отраслях, поставляющих материалы для изготовления машин.

**Моральное старение второй формы** происходит при появлении новой техники того же назначения, но более совершенной, чем старая.

Моральное старение, как и физическое, нарастает постепенно, но наступает одновременно и проявляется в равной мере у всей совокупности машин данной конструкции, в то время как физическое старение отражает индивидуальные свойства и состояние конкретного объекта.

Моральное старение первой формы не снижает эффективности используемых машин, поскольку снижение их первоначальной стоимости возмещается экономией на приобретение более дешевых аналогичных средств труда.

Моральное старение второй формы, подобно физическому старению, снижает потребительскую ценность и эффективность машин, ограничивает экономически целесообразные сроки их применения.



# ПОНЯТИЕ О КАЧЕСТВЕ

**Качество** – совокупность свойств объекта, обуславливающих его пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с назначением.



**ПНЗ (показатели назначения)** - характеризуют свойства объекта, определяющие основные функции, для выполнения которых он предназначен (производительность, мощность, к.п.д. и др.)

**ПН (показатели надежности)** - характеризуют свойства объекта сохранять и восстанавливать его работоспособность в процессе эксплуатации (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость).

**ПТ (показатели технологичности)** - характеризуют приспособленность конструкции к ее изготовлению и эксплуатации.

**ПТР (показатели транспортабельности)** - характеризуют приспособленность объекта к транспортированию, не сопровождающемуся его использованием по прямому назначению (перевозка по ж. д. и т. д.).

**ПСУ (показатели стандартизации и унификации)** - характеризуют насыщенность объекта стандартными, унифицированными и оригинальными частями, а также уровень унификации с другими изделиями.

**ПБП (показатели безопасности)** - характеризуют особенности конструкции объекта, обуславливающие безопасность обслуживающего персонала при его эксплуатации.

**ЭРП (эргономические показатели)** - характеризуют не отдельный объект, а систему человек-машина с точки зрения удобства и комфорта эксплуатации конкретного изделия.

**ЭКП (экологические показатели)** - характеризуют еще более сложную систему человек-машина-среда с точки зрения уровня вредных воздействий на природу, возникающих в процессе эксплуатации машины.



**ЭСП (эстетические показатели)** - характеризуют рациональность формы, целостность композиции и совершенство производственного исполнения изделия.

**ППП (патентно-правовые показатели)** - характеризуют степень обновления технических решений, использованных в конкретном объекте, их патентную защиту, а также возможность беспрепятственной реализации изделия за рубежом. Основные из них - патентная защита и патентная чистота.

**ПЭ (показатели экономичности)** характеризуют затраты труда и средств при изготовлении объекта и его эксплуатации.

Первый ПЭ характеризует трудоемкость производства, металлоемкость конструкции, приспособленность составных элементов конструкции к механизированному производству.

Второй ПЭ характеризует удельный расход топливосмазочных материалов при эксплуатации, производительность, затраты труда и денежных средств на техническое обслуживание и ремонт при эксплуатации.

**Коэффициент дефектности**

$$K_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a m_i r_i,$$

где  $n$  – число изделий (выборка);

$a$  – число видов дефектов;

$m_i$  – число дефектов данного вида;

$r_i$  – коэффициент весомости дефекта.

# НАДЕЖНОСТЬ И ЕЕ СВОЙСТВА

**Надежность** — свойство объекта сохранять во времени и установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать *безотказность*, *долговечность*, *ремонтпригодность* и *сохраняемость* или определенные сочетания этих свойств.

**Безотказность** — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

**Долговечность** — свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

**Ремонтпригодность** — свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта.

**Сохраняемость** — свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.



# Показатели сохраняемости

- **Средний срок сохраняемости  $T_{\text{хр}}$**  – математическое ожидание срока сохраняемости.
- **Гамма-процентный срок сохраняемости  $T_{\gamma}$**  – срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.
- **Средние удельные затраты  $C_{\text{хр}}$**  на хранение объекта

$$C_{\text{хр}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_{\text{зп.хр}} + C_{\text{м.хр}} + C_{\text{ам.хр}}}{T_{\text{хр.}i}},$$

где  $C_{\text{зп.хр}}$  – суммарные затраты на заработную плату при хранении  $i$ -той машины;

$C_{\text{м.хр}}$  – суммарные затраты на материалы при хранении  $i$ -той машины;

$C_{\text{ам.хр}}$  – суммарные затраты на амортизацию зданий и сооружений машинных дворов при хранении  $i$ -той машины;

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ

Основной причиной повреждений и разрушений деталей машин является воздействие на них различных видов энергии (механической, тепловой, химической, электромагнитной) в виде различных полей и сред (*внешних факторов*):

несущих нагрузок и скоростей (физических полей), так называемых факторов  $P, v, T$ ;

от воздействия кислотной или щелочной сред (химических полей):

вследствие совместного воздействия физических и химических полей.

Так же детали машин претерпевают повреждения и разрушения под действием *внутренних факторов*:

усталость материала вследствие перераспределения внутренних напряжений, возникающих в процессе структуро- и формообразования деталей;  
объемная газовая коррозия.

**Поле физической величины** – совокупность физической величины (температуры, скорости и т. д.) во всех точках какой-либо пространственной области в данный момент времени. Если поле изменяется во времени, оно называется *нестационарным*; если не изменяется во времени – *стационарным*.

На детали действуют следующие виды физических полей: силовое (механическое), тепловое, электрическое, магнитное, звуковое, световое и т. д.



# Разрушение деталей под действием химического поля

Поле **химической величины** - это совокупность значений химической величины (кислотности, щелочности) во всех точках какой-либо пространственной области в данный момент времени.

Под действием среды (химического поля) детали претерпевают **коррозионное разрушение**.

**Коррозия** - это разрушение металлов вследствие химического или электрохимического взаимодействия их с внешней (коррозионной) средой.

**Причина коррозии** - термодинамическая неустойчивость металлов, вследствие чего в природе они всегда находятся в окисленном состоянии.

**Скорость коррозии** определяется многими факторами:

- состоянием поверхности металла и особенностями его структуры,
- температурой, составом и скоростью движения коррозионной среды,
- механическими напряжениями материала и др.

**Классификация коррозии:**

- по геометрическому характеру коррозионных разрушений сплошная (общая) и местная коррозия может быть **подповерхностная, межкристаллитная, избирательная** и др.;
- по характеру взаимодействия металла со средой - **химическая**, протекающая в средах, не проводящих электрический ток (газы, нефть и т. д.), и **электрохимическая** - в водных растворах электролитов (солевая, кислотная, щелочная и пр.);



- по типу коррозионной среды - *атмосферная, газовая, морская, подземная*;
- по характеру дополнительных воздействий, которым подвергается металл одновременно с действием коррозионной среды, - коррозия *под напряжением*, коррозия *при трении*, *контактная* коррозия, *фреттинг-коррозия*, *электрокоррозия* внешним током, *радиохимическая* коррозия (под действием радиоактивного излучения), *биокаоррозия* (под воздействием продуктов, выделяемых микроорганизмами) и др.

Различают два механизма коррозии: *химический* и *электрохимический*.

**Химическая коррозия** чаще проявляется в виде газовой коррозии при контакте металлов с кислородом, сернистым газом, сероводородом, углекислотой и другими газами (главным образом при повышенных температурах).

**Электрохимическая коррозия** происходит под действием электролиза в водных растворах солей, кислот, щелочей, в растворах солей и щелочей, во влажной атмосфере и почве.

Все меры защиты от коррозии по характеру их воздействия можно разделить на три основных фактора.

**1. Воздействие на металл.** К числу этих мер можно отнести коррозионно-стойкое легирование, термообработку, применение различных покрытий и т. д.

**2. Воздействие на среду.** Используют инертные газы, вводят ингибиторы. Другой способ снижения коррозии в водных растворах - обескислороживание.

**3. Воздействие на конструкцию.** Здесь необходимо предотвратить контактную коррозию путем подбора материалов и прокладок; устранить возможность скопления влаги; обеспечить слитность сечения (наименьшее отношение периметра сечения к его площади) деталей и др.



# КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ

Согласно ГОСТ 21.002-89 событие, заключающееся в нарушении работоспособности, называется **отказом**, а событие, заключающееся в нарушении исправного состояния, - **повреждением**.

Отказы возникают по трем основным причинам: *изнашивание поверхностей трения деталей, усталость материала, коррозионное разрушение.*

Классифицировать отказы можно по следующим признакам.

**По природе происхождения** отказы делят на *естественные* и *искусственные* (преднамеренные).

*Естественные* отказы происходят по причинам, независящим от человека, эксплуатирующего технику.

*Искусственные* отказы возникают в результате сознательных или несознательных действий персонала, эксплуатирующего технику.

**По времени возникновения** различают приработочные отказы, отказы при нормальной эксплуатации и отказы при эксплуатации в режиме аварийного изнашивания.

**По характеру возникновения** отказы подразделяют на постепенные, внезапные, самоустраняющиеся, перемежающиеся и сбои.

*Постепенные отказы* проявляются в постепенном изменении одного или нескольких параметров объекта.

*Внезапные отказы* характеризуются скачкообразным изменением одного или нескольких параметров машины или ее элемента.



**Самоустраняющиеся отказы** - это возникающие в процессе эксплуатации машины отказы, устраняющиеся без каких-либо обслуживающих или ремонтных воздействий.

**Перебегающие отказы** - это многократно возникающие самоустраняющиеся отказы объекта одного и того же характера.

**Сбой** - самоустраняющийся кратковременный отказ.

**По взаимосвязи** отказы подразделяют на **независимые** и **зависимые**.

**Независимый** отказ не обусловлен отказом другой детали или узла, а **зависимый** - обусловлен.

**По степени воздействия** отказа, определяющей возможность дальнейшего использования объекта, а также место и метод его устранения, все отказы разделяют на **эксплуатационные** и **ресурсные**.

**К эксплуатационным**, с этой точки зрения, отказам относятся такие, устранение которых не связано с большим объемом разборочно-сборочных работ, не требует высокой квалификации обслуживающего персонала и сложного оборудования и сводится к замене неисправных деталей или регулировке вышедшего из строя механизма. Устранение таких отказов осуществляется методами текущего ремонта.

**К ресурсным** относят такие отказы, устранение которых требует специального оборудования и большого объема разборочно-сборочных работ, т. е. капитального ремонта. Например, к ресурсным отказам двигателя относят изгиб или скручивание шатунов, разрыв шатунных болтов, коробление гнезд подшипников коленчатого вала, предельный износ, задиры гильз или поршней и др.



**По причине возникновения** отказы разделяются на следующие виды:

**исследовательские** отказы, возникающие вследствие ошибок, допущенных на стадии исследований, приводящих к выдаче неверных исходных данных для проектирования (конструирования) объекта или его элемента;

**расчетно-конструкторские** отказы, появляющиеся вследствие ошибок при выборе кинематики механизмов и выполнении прочностных расчетов, расчетов на износ и назначении технических условий на изготовление элементов и объекта в целом;

**производственно-технологические** отказы, являющиеся следствием плохого качества материалов деталей, несовершенных технологических способов и методов их обработки, применения недостаточно точных мерительных инструментов и оборудования, приводящих к невыполнению технических условий на изготовление и сборку элементов и объекта в целом.

**эксплуатационные** отказы, являющиеся результатом использования объектов в условиях, для которых они не предназначались, нарушения правил эксплуатации (недопустимые перегрузки, невыполнение правил технического обслуживания, транспортирования и хранения), а также низкого качества ремонта.

**По последствиям и затратам** отказы могут быть **тягчайшими**, когда они приводят к человеческим жертвам, **тяжелыми**, **средними** и **незначительными**.

**По группам сложности** устранения отказы подразделяются на три группы.

**Первая группа сложности** - это отказы, устраняемые ремонтом или заменой деталей, расположенных снаружи сборочных единиц, и агрегатов без разборки последних, а также отказы, устранение которых требует внеочередного проведения операций ТО-1 и ТО-2.

**Вторая группа сложности** - это отказы, устраняемые ремонтом или заменой легкодоступных сборочных единиц и агрегатов (или их деталей), а также отказы, устранение которых требует раскрытия внутренних полостей основных агрегатов без их разборки или внеочередного проведения операций ТО-3.

**Третья группа сложности** - это отказы, для устранения которых необходимы разборка или расчленение основных агрегатов.



# ВИДЫ ТРЕНИЯ

Основная причина выхода из строя машин - *отказ вследствие износа.*

Причина износа деталей машин - *внешнее трение.*

Согласно ГОСТ 23.002-89 **внешнее трение** - это явление сопротивления *относительному перемещению, возникающему между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним, сопровождаемое диссипацией энергии.* Таким образом, трение - это прежде всего сопротивление.

Причина внешнего трения твердых тел - действие на них физического или химического поля, а чаще всего следствие их совместного действия.

# Классификация видов трения по характеру движения



Для трения скольжения характерно *истирание* деталей, а для трения качения - *смятие* и *выкрашивание*. Для деталей работающих в условиях сложного трения, при котором происходит перекатывание со сдвигом (зубчатые передачи), характерно выкрашивание (*питтинг*).



# Классификация видов трения по характеру смазки



Для **сухого** трения (трения без смазочного материала) характерно механическое зацепление микронеровностей и молекулярное взаимодействие поверхностей в зоне контакта.

# Жидкостное трение и смазка

**Жидкостным** или гидродинамическим принято называть трение скольжения, протекающее при разделении трущихся поверхностей слоем смазки такой толщины, при которой молекулярное взаимодействие этих поверхностей практически отсутствует. В этом случае закономерности трения определяются объемным свойством смазки, ее вязкостью и не зависят от природы трущихся поверхностей. Коэффициент жидкостного трения колеблется в пределах 0,01...0,001.

**Наименьшая толщина слоя смазки**, при котором еще справедливы законы жидкостного трения (если тому не препятствует высота неровностей поверхностей), составляет около **0,5 мкм**. Сближение поверхностей может привести к нарушению жидкостного трения вследствие касания выступов неровностей этих поверхностей, т. е. будет иметь место **полужидкостное** трение. **Граничным** называется такой вид трения скольжения, при котором толщина масляной прослойки достигает **0,1 мкм**. В этом случае трение продолжает носить переходный характер, однако между трущимися поверхностями начинает появляться действие молекулярных сил.

Под **маслянистостью** принято понимать особое свойство, благодаря которому масла одинаковой вязкости, при одних и тех же условиях работы дают различные коэффициенты трения. Последнее объясняется различной активностью молекул в сравниваемых маслах.

Таким образом, если **при жидкостном трении** основным качеством масла является его **вязкость**, то при **граничном** - **маслянистость**.



# ПОНЯТИЕ ОБ ИЗНАШИВАНИИ

**Изнашивание** — процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющийся, в постепенном изменении размеров и (или) формы тела (ГОСТ 23.002-89).

**Износ** деталей - результат их изнашивания, определяемый в установленных единицах ( в единицах длины, объема, массы и др.).

Основные характеристики процесса изнашивания следующие.

**Скорость изнашивания** - отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник. Различают мгновенную (в определенный момент времени) и среднюю скорость изнашивания (за определенный интервал времени).

**Интенсивность изнашивания** - отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходило изнашивание, или к объему выполненной работы.

**Износостойкость** - свойство материалов оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или его интенсивности.

**Относительная износостойкость** - свойство материалов, характеризуемое отношением интенсивности изнашивания одного материала к интенсивности изнашивания другого при изнашивании в одинаковых условиях (обычно один из материалов принимается за эталон).

Различают три основных вида изнашивания: **механическое**, **молекулярно-механическое** и **коррозионно-механическое**. В свою очередь, каждый из этих видов делится на несколько подвидов.

# Классификация видов изнашивания





**Молекулярно-механическое изнашивание** вызывается одновременным воздействием молекулярных и механических сил. Его характерными признаками являются схватывания, задиры, а также перенос частичек металла с одной из сопрягаемых поверхностей на другую.

**Схватывание** - явление местного соединения двух твердых тел, происходящего вследствие действия молекулярных сил при трении. Необходимым условием для схватывания металлов является непосредственный контакт чистых, так называемых «ювенильных» поверхностей, возникающий в процессе совместного пластического деформирования.

**Адгезионное** - состоит в схватывании микронеровностей поверхностей трения, разрушении мест схватывания с отделением частиц металла и в последующем новым схватывании этих частиц с поверхностным слоем металла. В результате этого также образуются натирсы и задиры поверхностей, перенос частичек металла с одной поверхности на другую.

При трении скольжения с большими скоростями относительного перемещения и значительными удельными давлениями, обуславливающими высокий градиент, термическую пластичность и интенсивный рост температуры в поверхностных слоях металлов, интенсифицируются процессы схватывания, происходит так называемое **тепловое** изнашивание. Такого рода изнашивание проявляется в виде задиров стенок цилиндров, на стержнях и направляющих втулках клапанов, тарелках толкателей, кулачках и опорных шейках распределительных валов.



**Механическое изнашивание** разделяется на абразивное, гидро-газоабразивное, гидро-газоэрозионное, электроэрозионное, усталостное, водородное, кавитационное.

**Абразивное** изнашивание в машинах возникает в результате действия абразивной среды на поверхности трения.

**Гидро-газоабразивное** изнашивание вызывается абразивными частицами, перемещающимися потоком жидкости или газа.

**Гидро-газоэрозионное** изнашивание - представляет собой механическое изнашивание в результате воздействия потока жидкости или газа, отделяющего с поверхности деталей частицы металла.

**Электроэрозионное** изнашивание - эрозионное разрушение поверхности электропроводящих материалов в результате воздействия искровых разрядов при прохождении электрического тока.

**Усталостное** изнашивание происходит под действием периодических переменных нагрузок. Его характерным признаком является возникновение микротрещин и выкрашивания, именуемого питтингом.

**Водородное** изнашивание - это разрушение поверхностного слоя вследствие расширения (микровзрыва) поглощенного металлом водорода, находящегося или выделяющегося в зоне трения деталей.

**Кавитационное** изнашивание вызывается гидравлическими микроударами, образующимися при относительном перемещении жидкости и твердого тела. При этом образующиеся в движущейся жидкости пузырьки газа (пара) захлопываются вблизи поверхности, что создает местное повышение давления и температуры, вследствие чего образуются каверны, язвы и сплошная перфорация детали.



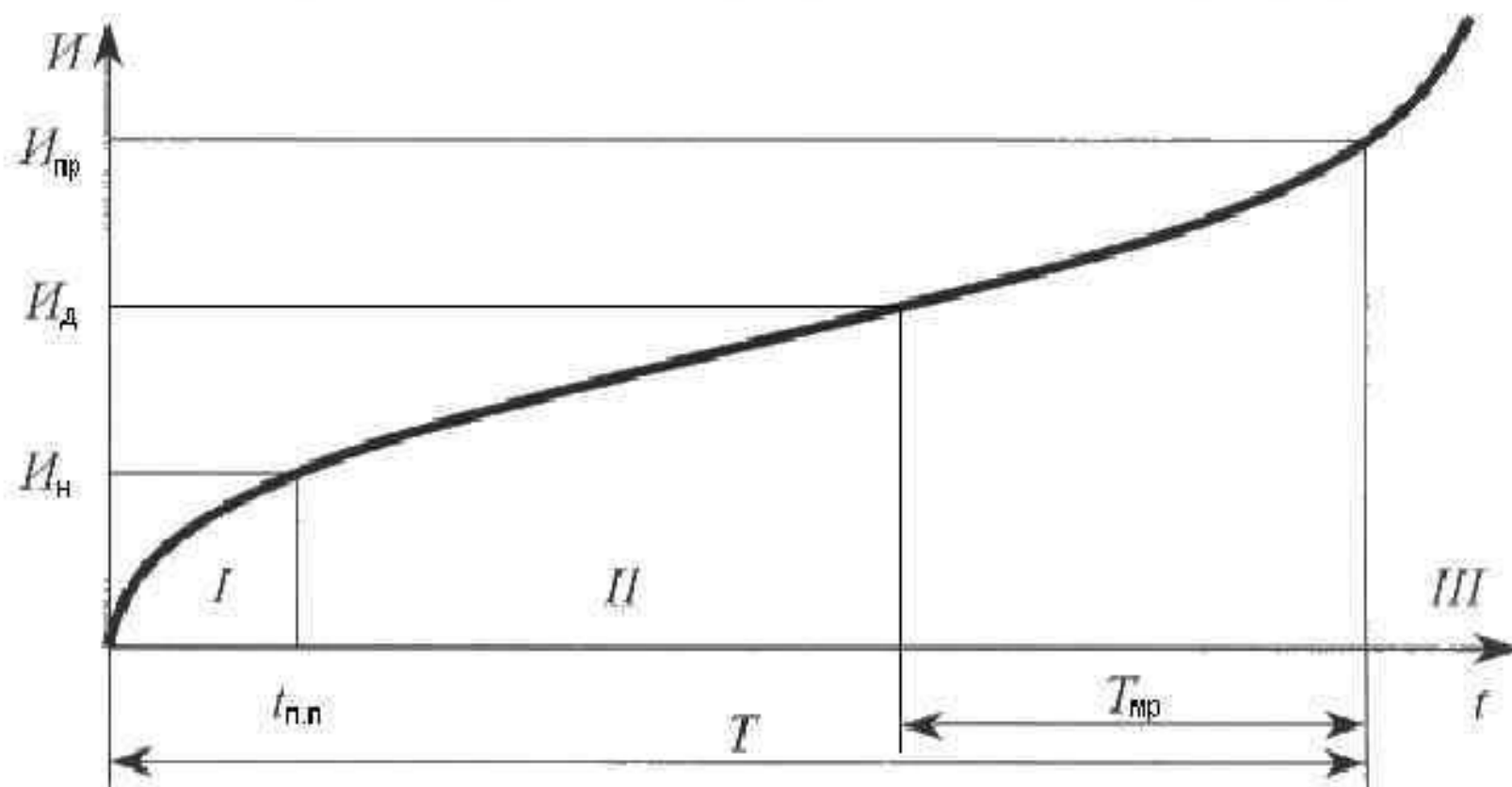
**Коррозионно-механическое изнашивание.** Ему подвержены поверхности, непосредственно вступающие в химическое взаимодействие с окружающей средой. К коррозионно-механическому относится механическое изнашивание, усиленное явлениями коррозии. Его подразделяют на *окислительное* изнашивание, изнашивание *в условиях агрессивного действия внешней среды* и изнашивание *при фреттинг-коррозии*.

*Окислительное* изнашивание характеризуется разрушением и удалением мельчайших твердых частиц металла и его хрупких окислов вследствие проникновения кислорода воздуха к трущимся поверхностям. Оно происходит при одновременно протекающих процессах: микропластической деформации поверхностных слоев и диффузии кислорода в деформируемые объемы металла. Кислород вступает во взаимодействие с металлом и на поверхности образуется окисная пленка, защищающая поверхность трения от непосредственного контакта.

Изнашивание *в условиях агрессивного действия внешней среды* характерно для деталей машин, работающих с удобрениями, ядохимикатами, кислотами и щелочами и другими химически активными элементами. Механизм его аналогичен окислительному изнашиванию, однако образуются не окислы, а соли, которые механически удаляются при трении.

Изнашивание *при фреттинг-коррозии* возникает в случае трения скольжения с очень малыми возвратно-поступательными перемещениями в условиях динамической нагрузки. Такое движение может быть вызвано вибрациями. При трении в этих условиях создаются мелкие окисные пленки, отделяющиеся с поверхностей, которые не удаляются за пределы контакта и создают условия абразивного изнашивания.

## «Классическая» кривая изнашивания



Процесс изнашивания деталей машин разделяют на три периода. Первый период (участок I) называется *периодом приработки*. Второй период (участок II), именуемый периодом нормального *эксплуатационного изнашивания*. Третий период (участок III), характеризующий наступление катастрофического, *прогрессирующего изнашивания*, при условии правильной эксплуатации весьма непродолжителен.



# Понятие об эффекте безызносности

Скорость изнашивания может быть существенно понижена при формировании в процессе трения на поверхности детали пленок меди. Образование таких **сервовитных** (от лат. *servo-witte* — спасти жизнь) пленок связывают с избирательным растворением и осаждением отдельных элементов сплавов, содержащих медь. Это явление имеет электрохимическую природу и получило название «избирательного переноса» (открыто Д. Н. Гаркуновым и И. В. Крагельским).

**Избирательный перенос** — наиболее яркое проявление эффекта двухслойной смазки, при котором и слой мягкого металла, покрывающего поверхности трения, и слой поверхностно-активных веществ (ПАВ), адсорбированных на нем, образуются непосредственно в процессе трения. Использование оригинального и перспективного эффекта избирательного переноса позволяет получить коэффициенты трения  $0,01 \dots 0,005$ , интенсивность изнашивания  $10^{-10} \dots 10^{-12}$ , в то время как при граничной смазке в обычных условиях коэффициент трения составляет  $0,05 \dots 0,1$ , а интенсивность изнашивания —  $10^{-9} \dots 10^{-10}$ . Это дало основание называть явление избирательного переноса **эффектом безызносности**.

Избирательный перенос реализуется при трении стали по определенным медным сплавам (например, по некоторым бронзам или латуням) в ряде сред (прежде всего в глицерине, спиртоглицериновых средах, морской воде и т. д.) в определенных интервалах изменения условий работы соединения.

# Понятие об эффекте безызносности

Под действием глицерина (или другой среды) при трении начинается избирательное анодное растворение легирующих бронзу элементов. Атомы этих элементов уносятся в смазочную среду, а поверхность бронзы обогащается медью. В восстановительной среде, которой является глицерин, эта медь не окисляется и поэтому очень активна. Она легко схватывается со стальной поверхностью, покрывая ее тонким слоем.

В этом слое возникает большое количество вакансий, часть которых образует поры, заполняемые молекулами глицерина. В результате образуется так называемая **сервовитная** пленка толщиной 1...2 мкм, которая имеет низкую прочность на сдвиг и не наклёпывается при трении. Она прекрасно адсорбирует активные компоненты среды, прежде всего комплексные соединения, образуемые растворенными элементами сплава и продуктами механохимических превращений смазочной среды. Кроме того, обладая высокой теплопроводностью, она способствует снижению температуры поверхности трения путем отвода теплоты в глубинные слои материала.

Избирательный перенос, к сожалению, реализуется лишь при определенных сочетаниях материалов трущихся тел и смазочных материалов в определенном, достаточно узком интервале изменения действующих факторов (нагрузочных, скоростных и особенно температурных).



## Способы создания практически безизносной структуры металлов и сплавов

1. Создание объемной бездефектной структуры, т. е. нитевидных кристаллов.
2. Измельчение зерна до размеров  $0,1 \dots 0,01$  мкм.
3. Повышение плотности дефектов кристаллического строения до значений  $10^{11} \dots 10^{13} \text{ см}^{-2}$ .
4. Измельчение зерна и равномерное распределение указанной плотности дислокаций.
5. Применение самосмазывающихся композитов из системы «металл – полимер».
6. Применение дисперсноупрочненных композитов.
7. Перевод поверхностного слоя с решетчатого (кристаллического) строения в аморфное.
8. Плакирование поверхностей трения конденсированным слоем интерметаллидных соединений.
9. Плакирование поверхностей трения бездефектными структурами.
10. Получение поверхностного слоя с принципиально новым строением, с изменением геометрии и плотности упаковки атомов и их связи в решетке металла.

# Пути повышения надежности машин

- **Конструкторские мероприятия:**

1. Упрощение конструктивной схемы машины, уменьшение числа ее элементов.
2. Замена элементов, лимитирующих надежность машины, более надежными.
3. Выбор долговечных материалов деталей и рациональных их сочетаний.
4. Снижение концентрации напряжений при выборе формы и размеров деталей.
5. Обеспечение функциональной избыточности элементов машины, повышением запасов прочности и эксплуатационных свойств деталей.
6. Создание оптимальных температурных режимов работы соединений деталей.
7. Защита элементов машины от разрушающих действий окружающей среды.
8. Установка различных датчиков и автоматических контрольно-измерительных устройств.
9. Повышение уровня ремонтпригодности машин более рациональной компоновкой ее элементов.
10. Обеспечение благоприятных условий работы деталей.
11. Обеспечение хороших условий смазывания трущихся поверхностей деталей.
12. Создание эффективных устройств для очистки воздуха, топлива и смазки.
13. Улучшение конструкций и материалов уплотнительных устройств.
14. Обеспечение достаточной жесткости базовых деталей.
15. Другие мероприятия повышения качества крепежа, подвески и т. д.
16. Введение системы бездефектного проектирования.
17. Организация при КБ заводов-изготовителей служб надежности.



# Пути повышения надежности машин

- **Технологические мероприятия:**
  1. Обеспечение необходимой точности изготовления деталей.
  2. Обеспечение оптимального качества рабочих поверхностей.
  3. Повышение износостойкости, статической и циклической прочности деталей.
  4. Упрочнение деталей химико-термической обработкой.
  5. Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием.
  6. Нанесение на рабочие поверхности деталей машин износостойких покрытий.
  7. Другие методы повышения долговечности деталей:
    - армирование деталей;
    - применение кованных заготовок и профилей;
    - изготовление зубчатых колес и шлицевых валов методом обкатывания;
    - установка втулок, колец и вставок из износостойких материалов;
    - проведение искусственного старения чугуновых деталей;
    - статическая и динамическая балансировка деталей и сборочных единиц;
    - повышение точности сборки и качества окраски агрегатов и машин в целом;
    - контроль качества;
    - применение принципиально новых материалов, технологий, замена механических систем электронными устройствами.

# Пути повышения надежности машин

- **Технологические мероприятия:**
  1. Обеспечение необходимой точности изготовления деталей.
  2. Обеспечение оптимального качества рабочих поверхностей.
  3. Повышение износостойкости, статической и циклической прочности деталей.
  4. Упрочнение деталей химико-термической обработкой.
  5. Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием.
  6. Нанесение на рабочие поверхности деталей машин износостойких покрытий.
  7. Другие методы повышения долговечности деталей:
    - армирование деталей;
    - применение кованных заготовок и профилей;
    - изготовление зубчатых колес и шлицевых валов методом обкатывания;
    - установка втулок, колец и вставок из износостойких материалов;
    - проведение искусственного старения чугуновых деталей;
    - статическая и динамическая балансировка деталей и сборочных единиц;
    - повышение точности сборки и качества окраски агрегатов и машин в целом;
    - контроль качества;
    - применение принципиально новых материалов, технологий, замена механических систем электронными устройствами.



# Пути повышения надежности машин

- **Технологические мероприятия:**

1. Обеспечение необходимой точности изготовления деталей.
2. Обеспечение оптимального качества рабочих поверхностей.
3. Повышение износостойкости, статической и циклической прочности деталей.
4. Упрочнение деталей химико-термической обработкой.
5. Упрочнение деталей поверхностным пластическим деформированием.
6. Нанесение на рабочие поверхности деталей машин износостойких покрытий.
7. Другие методы повышения долговечности деталей:
  - армирование деталей;
  - применение кованных заготовок и профилей;
  - изготовление зубчатых колес и шлицевых валов методом обкатывания;
  - установка втулок, колец и вставок из износостойких материалов;
  - проведение искусственного старения чугуновых деталей;
  - статическая и динамическая балансировка деталей и сборочных единиц;
  - повышение точности сборки и качества окраски агрегатов и машин в целом;
  - контроль качества;
  - применение принципиально новых материалов, технологий, замена механических систем электронными устройствами.

# Пути повышения надежности машин

- **Эксплуатационные мероприятия:**

1. Качественная обкатка новых и отремонтированных машин в хозяйстве.
2. Организация ТО и создание для его проведения необходимой материальной базы.
3. Проведение периодических технических осмотров машин.
4. Соблюдение режимов работы машин.
5. Соблюдение рекомендаций заводов-изготовителей по применению топлива, масла и смазочных материалов.
6. Контроль и обеспечение достаточной герметизации агрегатов и механизмов машин.
7. Соблюдение установленных правил хранения машин.
8. Повышение уровня квалификации механизаторов и организации выполнения механизированных работ и инженерной службы хозяйства.
9. Постоянное повышение квалификации обслуживающего персонала.
10. Строгое соблюдение инструкций по эксплуатации с. х. техники.
11. Соблюдение правил транспортировки и хранения машин.
12. Применение специальной оснастки и оборудования при проведении технического обслуживания и ремонта.



# Пути повышения надежности машин

- **Ремонтные мероприятия:**

1. Проведение предремонтного диагностирования в мастерских хозяйствах.
2. Обеспечение сохраняемости ремонтного фонда.
3. Выполнение разборочных работ без повреждения деталей и разукomплектовки соответствующих пар.
4. Выполнение на ремонтных предприятиях качественной очистки машин.
5. Контроль и дефектация деталей.
6. Контроль восстановления и стабилизации размеров базовой детали.
7. Введение на ремонтных предприятиях входного контроля запасных частей.
8. Подбор деталей цилиндропоршневой группы по массе.
9. Динамическая балансировка коленчатых и карданных валов, сцепления, колес автомобилей и других деталей и сборочных единиц.
10. Обеспечение регламентированных зазоров и натягов в соединениях, усилий затяжки резьбовых соединений и других требований при сборке агрегатов и машин.
11. Обеспечение хорошей герметизации агрегатов и сборочных единиц.
12. Внедрение стендовой обкатки и испытаний агрегатов и машин.
13. Повышение качества окраски ремонтируемых машин.

# Пути повышения надежности машин

- Резервирование как метод повышения надежности машин.

**Резервирование** – применение дополнительных средств и возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов.

**Резерв** – совокупность дополнительных средств и возможностей, используемых для резервирования.

## Виды резервирования:

*структурное резервирование* с применением резервных элементов структуры объекта;

*временное резервирование* с учетом резервов времени;

*информационное резервирование* с применением резервов информации;

*функциональное резервирование* с использованием функциональных резервов;

*нагрузочное резервирование* с применением нагрузочных резервов;

*общее резервирование*, при котором резервируемым элементом является объект в целом;

*раздельное резервирование*, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы;

*постоянное резервирование* без перестройки структуры объекта при возникновении отказа его элемента;

*динамическое резервирование* с перестройкой структуры объекта при возникновении отказа его элемента;



# Пути повышения надежности машин

## Виды резервирования:

- резервирование замещением* – динамическое, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента;
- скользящее резервирование замещением*, при котором группа основных элементов объекта резервируется одним или несколькими резервными, каждый из которых может заменить любой отказывающий основной элемент в данной группе;
- смешанное резервирование* – сочетание различных видов резервирования в одном и том же объекте;
- дублирование* – резервирование с кратностью резерва один к одному (кратность резервирования равна единице);
- Кратность резервирования** – отношение числа резервных элементов к числу резервируемых или основных элементов.





