

**Лекционное занятие № 1-2.**

# **ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ**

**Тема 1:**

**Основные понятия и определения**

## 1.1. Классификация машин

**Машина** (от франц. machine) – это техническое устройство определенного функционального назначения, работа которого основывается на использовании механических форм движения.

Машины имеют определенное функциональное назначение, которое количественно отображается их технической характеристикой.

Классификацию машин в соответствии с их функциональным назначением можно представить следующим образом.

### **Энергетические установки:**

– с использованием химических источников энергии (поршневые двигатели, газотурбинные установки, магнетогазодинамические установки);

– с использованием ядерных источников энергии;

– с использованием естественных источников энергии (гидро-технические установки, солнечные установки, ветровые установки).

## ***Подъемно-транспортные машины (ПТМ):***

- *грузоподъемные* (подъемники (лифты), краны, погрузчики, разгрузочные машины);
- *транспортирующие* (конвейеры, гидротранспорт, пневмотранспорт);
- *транспортные* (наземного промышленного транспорта, автомобильного транспорта, водного транспорта, воздушного транспорта).

## ***Машины для перемещения рабочих веществ:***

- компрессоры (поршневые, ротационные, центробежные, осевые, винтовые);
- насосы (поршневые (плунжерные), винтовые (шнековые), центробежные, шестеренчатые).

## ***Технологические (рабочие) машины:***

- машины агропромышленного комплекса;
- машины добывающей промышленности;
- технологическое оборудование промышленных производств;
- технологическое оборудование химической

- Функциональное назначение энергетических установок – выработка механической и электрической энергии за счет использования химических, ядерных и естественных источников энергии.

- Функциональное назначение подъемно-транспортных машин – перемещение груза на определенное расстояние.

- Машины для перемещения рабочих веществ в зависимости от базового состояния рабочего вещества делятся на компрессоры и насосы. Компрессоры предназначены для сжатия и перемещения газообразных веществ, а насосы – для сжатия и перемещения жидких и консистентных рабочих веществ.

- Технологические (рабочие) машины предназначены для выполнения производственного процесса, конечной целью которого является выпуск продукции определенного функционального назначения.

Основной структурной составляющей машины является сборочная единица.

**Сборочная единица** представляет собой изделие, составные части которого подвергаются сборочным операциям (свинчиванию, сварке, запрессовке, склеиванию и т. п.). В основе сборочной единицы лежит определенным образом образованная структура, которую принято называть механизмом.

**Механизм** – искусственно созданная система деталей или групп деталей, предназначенных для преобразования движения одного или нескольких тел в движение других тел в заданном направлении и с требуемой точностью (например, кривошипно-шатунный механизм).

**Деталью** называют изделие (вал, винт, литой корпус и т. п.), изготовленное из одного и того же материала без применения сборочных операций.

Машины, используемые на судах, называют *судовыми техническими средствами (СТС)*.

Система технической эксплуатации флота, включающая в себя *техническое использование, техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р)*, существенно изменилась с введением РД 31.20.50-87 «Комплексная система технического обслуживания и ремонта судов» (далее по тексту РД). Принципиальное отличие новой системы – отказ от планово-предупредительной системы проведения профилактических работ по ТО и Р, базирующихся на технических ресурсах, с установленной периодичностью, что закреплялось планами и графиками. Совершенствование и развитие технического диагностирования дало возможность выполнять оценку технического состояния СТС и определять наличие дефектов, что более обоснованно свидетельствует о необходимости выполнения работ по ТО и Р. При этом регламентация выполнения ТО и Р по наработке СТС (в часах) необязательна, что существенно снижает трудозатраты и материальные средства. ТО и Р выполняются только по необходимости – при наличии дефекта. Однако это должно сопровождаться дополнительными затратами по техническому диагностированию (регулярные измерения диагностических показателей и наблюдения за их изменением).

Поэтому основной целью внедрения РД по комплексной системе ТО и Р судов является совершенствование организационных и методических основ системы ТО и Р судов. Это позволяет расширить масштабы и упорядочить применение средств технического диагностирования и неразрушающего контроля па судах в процессе эксплуатации и будет способствовать:

- снижению трудоемкости по выполнению ТО и Р;
- предотвращению отказов;
- уменьшению бюджета ремонтного времени.

Данный РД устанавливает единые на морском флоте технико-организационные и методические основы комплексной системы ТО и Р (по состоянию и расписанию). Он является обязательным для судовладельцев, судов, баз технического обслуживания, судоремонтных заводов и т.д., занимающихся обеспечением технической эксплуатации флота в целом.

Для повышения эффективности использования судов и СТС большое значение имеет надежность судовой техники. На основе результатов анализа показателей надежности можно:

- разработать мероприятия по повышению безотказности, и долговечности деталей и узлов СТС;
- обосновать межремонтные периоды, нормативы расхода сменно-запасных частей и объемов ремонтов;
- оценить уровень безотказности объектов при государственной аттестации;
- сформировать требования по надежности применительно к заданным условиям эксплуатации и решать многие другие задачи.



## 1.2. Виды состояний технических средств

Все машины и механизмы в любой момент времени могут находиться в одном из следующих состояний (ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения):

– **исправном**, при котором объект соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации (НТКД);

– **неисправном**, при котором объект не соответствует хотя бы одному из требований НТКД;

– **работоспособном**, при котором значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции, соответствуют требованиям НТКД;

– **неработоспособном**, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность объекта выполнять заданные функции, не соответствует требованиям НТКД;

– **предельном**, при котором дальнейшая эксплуатация технического объекта недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Предельное состояние характеризуется критерием предельного состояния – признаком или совокупностью признаков предельного состояния объекта, установленных нормативно-технической и (или) конструкторской документацией.

В зависимости от условий эксплуатации для одного и того же объекта может быть установлено несколько признаков предельного состояния. Предельное состояние объекта означает временное или окончательное прекращение его эксплуатации. При этом объект должен быть снят с эксплуатации для ремонта, списания, уничтожения или передачи для применения не по назначению.

Из приведенных определений видно, что понятие «исправность» шире, чем понятие «работоспособность». Работоспособный объект в отличие от исправного удовлетворяет лишь тем требованиям НТКД, которые обеспечивают его нормальное функционирование с параметрами, установленными НТКД, т. е. с номинальными значениями мощности, скорости, напряжения, точности регулирования, производительности и т.п.

Работоспособный объект может быть неисправным, однако его неисправность при этом не настолько существенна, чтобы нарушить нормальное функционирование объекта (например, отказ сигнальной лампы контроля питания на щите при наличии вольтметра и т. п.).

Приведенные виды состояний объекта являются только качественными характеристиками. При этом количественные могут устанавливаться в зависимости от назначения и конструкции объекта.

### 1.3. Свойства надежности

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

Надежность тесно связана с различными сторонами эксплуатации технических объектов. Наиболее просто и кратко надежность можно определить как способность технического объекта не выходить из строя и выполнять в полном объеме свои функции.

В целом надежность является комплексом свойств, который в зависимости от назначения, конструктивных особенностей и условия эксплуатации может включать: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость в отдельности либо определенные сочетания этих свойств как для объекта в целом, так и для его частей. Так, для неремонтируемых объектов надежность включает безотказность, долговечность и сохраняемость, а для объектов восстанавливаемых и ремонтируемых часто определяющим свойством является ремонтно-

Для объектов, которые являются потенциальными источниками опасности, важными понятиями являются *безопасность* и *живучесть*.

***Безопасность*** – свойство объекта при изготовлении и эксплуатации и в случае нарушения работоспособного состояния не создавать угрозу для жизни и здоровья людей, а также окружающей среды.

***Живучесть*** – свойство объекта, состоящее в его способности противостоять развитию критических отказов при установленной системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), или свойство объекта сохранять ограниченную работоспособность при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации, при наличии дефектов или повреждений определенного вида, а также при отказе некоторых компонентов (элементов). Например, сохранение несущей способности элементами конструкции при возникновении в них усталостных трещин (ограниченных) или пластических деформаций (в конструктивных корпусах)

***Безотказность*** – это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или определенной наработки. Это свойство присуще объектам в любом из возможных режимов его существования. В основном безотказность рассматривается применительно к его использованию по назначению, но необходима и при хранении и транспортировании.

***Долговечность*** – это свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и Р. Однако объект может перейти в предельное состояние оставаясь работоспособным, если его дальнейшее применение по назначению станет недопустимым по требованиям безопасности, экономичности и эффективности.

***Ремонтпригодность*** – это свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем ТО и ремонта.

Ремонтопригодность включает также следующие понятия:

– *обслуживаемость*, т. е. приспособленность объекта к ТО;

– *контролепригодность* и *приспособленность* к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, а также причин их вызывающих;

– *поддерживаемость и эксплуатационная технологичность*, включающие ряд технико-экономических и организационных факторов (например качество подготовки обслуживающего персонала);

– *приспособленность к техническому диагностированию объекта* с представлением допустимых значений диагностических параметров и конкретных точек их измерений в НТКД.

*Сохраняемость* – это свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

В процессе хранения и транспортирования объекты подвергаются неблагоприятным воздействиям: колебаниям температуры, действию влажности, вибрации и т. п. В результате после хранения или транспортирования объект может оказаться в неработоспособном состоянии и даже в предельном (особенно ЗИП и СЗЧ). Сохраняемость объекта характеризуется его способностью (или упаковки, консервации) противостоять отрицательному влиянию условий хранения или транспортирования. Требования к показателям безотказности, ремонтпригодности, долговечности объекта, подвергнутого длительному хранению, указываются в техническом задании и могут быть снижены относительно уровня требований к новому объекту, не находящемуся на хранении.



## 1.4. Повреждения и отказы

Переход объекта из одного технического состояния в другое происходит вследствие повреждения или отказа: в предельное – только в случае отказа, а для сложных объектов – нескольких отказов по элементам.

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

***Отказ*** – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Если работоспособность характеризует совокупность параметров объекта, то признаком возникновения отказа является выход значения любого из параметров за предельное значение.

***Критерий отказа*** – признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленных в НТКД. Кроме того, в критерии отказа могут входить также качественные признаки, указывающие на нарушение нормальной работы объекта.

**Критичность отказа** — совокупность признаков, характеризующих последствия отказа.

Виды отказов:

- **ресурсный** — отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния;
- **независимый** — отказ, не обусловленный другими отказами;
- **зависимый** — отказ, обусловленный другими отказами;
- **внезапный** — отказ, характеризующийся скачкообразным изменением значения одного или нескольких параметров объекта (часто сопровождается аварийными ситуациями);
- **постепенный** — отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров;
- **перемежающийся** — многократно возникающий, самоустра-няющийся отказ одного и того же характера;
- **явный** — отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе использования;

- **скрытый** – отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявленный при проведении ТО и Р или специальными методами диагностики;
- **конструктивный** – отказ, возникающий по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования;
- **производственный** – отказ, возникающий по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии;
- **эксплуатационный** – отказ, возникающий по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации;
- **деградационный** – отказ, обусловленный естественными процессами старения, изнашивания, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм

## 1.5. Временные понятия в надежности

Временные понятия в надежности следующие:

- ***наработка*** – продолжительность или объем работы объекта. Нарработка может быть как непрерывной величиной (в часах, милях, километрах и т. п.), так и циклической величиной - суммой рабочих циклов;
- ***наработка до отказа*** – наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа;
- ***наработка между отказами*** – наработка объекта от окончания восстановления его работоспособного состояния после отказа до возникновения следующего отказа;
- ***время восстановления*** – продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта;
- ***ресурс*** – суммарная наработка объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние. Технический ресурс представляет запас возможной наработки объекта;

- ***срок службы*** – календарная продолжительность эксплуатации от начала или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние;

- ***срок сохраняемости*** – календарная продолжительность хранения или транспортирования объекта, в течение которой сохраняются в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции. По истечении срока сохраняемости объект должен соответствовать требованиям безотказности, долговечности, ремонтпригодности, установленными НТКД;

- ***остаточный ресурс*** – суммарная наработка объекта от момента контроля (диагностирования) его технического состояния до перехода в предельное состояние. Аналогично вводится остаточная наработка до отказа, остаточный срок службы и остаточный срок хранения;

- ***назначенный ресурс*** – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от состояния объекта (используется в системах с обслуживанием по расписанию);

- **назначенный срок службы** — календарная продолжительность, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его технического состояния;

- **назначенный срок хранения** — календарная продолжительность хранения, при достижении которой хранение объекта должно быть прекращено независимо от его технического состояния. По истечении времени назначенного ресурса (срока службы, срока хранения) объект должен быть изъят из эксплуатации с целью ремонта, проверки и установления нового назначенного ресурса; возможно принятие решения о дальнейшей эксплуатации объекта в зависимости от технического состояния.

## 1.6. Категории, касающиеся технического обслуживания и ремонта технических объектов

Категории, касающиеся технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) технических объектов:

- **восстановление** — процесс перевода объекта в работоспособное состояние из неработоспособного. Восстановление включает в себя идентификацию отказа (определение его места и характера), наладку и замену отказавшего элемента, регулирование и контроль технического состояния элементов объекта и заключительную операцию контроля работоспособного состояния объекта в целом.

Перевод объекта из предельного состояния в работоспособное осуществляется за счет ремонта, при котором производится восстановление ресурса объекта в целом.

- **обслуживаемый объект** — объект, для которого проведение ТО предусмотрено НТКД;

- **необслуживаемый** — объект, для которого ТО не предусмотрено;

- **восстанавливаемый** — объект, для которого рассматриваемой ситуации проведение восстановления

- **невосстанавливаемый** – объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено НТКД;

- **ремонтируемый** – объект, для которого проведение ремонта предусмотрено НТКД;

- **неремонтируемый** – объект, для которого проведение ремонта не предусмотрено НТКД.

Объект может быть ремонтируемым, но невосстанавливаемым. Например, многие контрольно-измерительные приборы и элементы автоматики по своей конструкции являются объектами ремонтируемыми, но в условиях эксплуатации, как правило, не подлежат восстановлению. Следовательно, восстановление работоспособного состояния после отказа для этих объектов в условиях эксплуатации невозможно, и поэтому они рассматриваются как невосстанавливаемые. В то же время имеется немало объектов, которые однозначно относятся к восстанавливаемым и ремонтируемым либо невосстанавливаемым и неремонтируемым.



Большинство машин и механизмов (двигатели, насосы, сепараторы и т. п.) являются объектами ремонтируемыми и восстанавливаемыми, а такие изделия, как лампы накаливания, шарикоподшипники и т. п. — невосстанавливаемыми и неремонтируемыми.

Деление объектов на ремонтируемые и неремонтируемые является определяющим при выборе показателей их надежности.

## 1.7. Факторы, влияющие на надежность техники

К основным факторам, влияющим на надежность технических объектов, относятся субъективные, зависящие от деятельности человека, и объективные, включающие внутренние за счет износа или старения и внешние. В качестве примера рассмотрим процентное распределение отказов морской техники в зависимости от внешних факторов (табл. 1.1).

*Таблица 1.1*

Процентное распределение отказов морской техники

Внешние факторы	Количество отказов, %
Температура:	
<i>низкая</i>	24,1
<i>высокая</i>	23,1
Влажность	13,9
Соленые брызги	1,9
Удары и вибрация	31,9
Прочие	5,1
Всего:	100

После достаточно длительной эксплуатации (десятки тысяч часов работы) на состояние объекта начинает оказывать влияние старение (износ). Оборудование начинает чаще отказывать. Скорость износа и старения определяется режимами работы и интенсивностью воздействия других факторов.

Тепловые поля могут быть созданы как воздействием внешней среды (солнечная энергия и ближайшие объекты, изменяющие теплоту), так и отдельными элементами, излучающими теплоту в процессе работы. Солнечная радиация приводит к тепловому воздействию. Тепловое излучение ухудшает условия охлаждения объекта и способствует его местному или общему перегреву. Все это ведет к быстрому изменению состояния элементов (узлов), что влечет за собой появление отказов.

Технические средства эксплуатируются при различных температурных условиях. Температурное влияние тем больше, чем больше частота и скорость изменения температуры. При низких температурах пластмассы теряют прочность, резиновые изделия

становятся хрупкими и растрескиваются, металлы делаются ломкими, нарушаются пайка, регулировка зазоров и т.п. Повышенная температура способствует перегреву машин.

Влажность является одним из наиболее сильно воздействующих факторов. При повышении влажности происходит ускоренное разрушение лакокрасочных покрытий, окисление металла. Атмосферные осадки способствуют повышению влажности со всеми вытекающими последствиями. Обледенение воздействует на наружные элементы оборудования, ведет к ухудшению их работы, а в ряде случаев – к их механическому разрушению. На оборудование, расположенное на судах и у береговой линии, сильное воздействие оказывают брызги и пыль морской воды.

Механические воздействия – удары и вибрации в процессе эксплуатации (табл. 1.2) могут привести к разрушению оборудования, крепежных деталей. Учитывая эти воздействия, необходимо постоянно следить за средствами амортизации и креплением технических объектов при транспортировке.

Таблица 1.2

Пределы вибрации и перегрузок для различных видов

Транспорт	Частота вибрации, Гц	Перегрузки, g = 9,81 м/с	Значения частот, соответствующих максимуму перегрузок, Гц
Морской	0...30	1	10...30
Железнодорожны й	1,5...400	2	2...8, 30...400
Автомобильный	0...200	4...5	2...3, 20...150
Авиационный	0...300	20	150...300

Режим работы оказывает существенное влияние на надежность элементов, деталей, узлов и всего оборудования в целом. Уменьшение фактических нагрузок способствует увеличению надежности. Режим работы оценивается коэффициентом нагрузки:

$$K_n = H_p / H_0,$$

где  $H_p$  – рабочая нагрузка;  $H_0$  – предельно допустимая нагрузка.

Использование элементов при предельно допустимых нагрузках сокращает срок их службы и не гарантирует надежной работы. В процессе эксплуатации необходимо следить за тем, чтобы оборудование не работало при предельно допустимой нагрузке.

## 8. Информационное обеспечение надежности

Обеспечение надежности технических объектов в значительной степени связано с использованием информации о результатах их эксплуатации. Информация должна поступать регулярно и объективно отражать условия эксплуатации оборудования.

Оценивание надежности по результатам эксплуатации может быть возможным при своевременном поступлении достоверной информации об отказах и своевременной обработке ее специальной службой надежности.

Информация о надежности должна быть достоверной, полной, систематической и относиться к определенному типоразмеру машины, эксплуатирующейся в конкретных условиях.

Достоверность информации достигается объективностью представленного материала и подготовленностью обслуживающего персонала. Под объективностью понимается своевременное заполнение донесений о состоянии технических средств и журналов учета с точным указанием причин отказов.

Полнота информации зависит от точного описания отказов и их причин, т. е. качества подготовки персонала и ясности инструкций по эксплуатации. Для решения задач по программам повышения надежности требуется определенный объем сведений, в том числе данные о времени обнаружения отказа; внешнем поведении отказа; времени, затрачиваемом на отыскание и устранение причины отказа; о типе и номинале отказавшего элемента, детали; месте его в схеме и о времени наработки элемента до отказа.

Систематизацию отказов оборудования удобно производить в табличной форме. Таблицы систематизации отказов используются в дальнейшем для проведения статистической обработки и получения количественных показателей надежности оборудования.

Результаты сравнения количественного анализа отказов удобно располагать в виде диаграмм Парето (рис. 1.1), характеризующих относительную долю в процентах каждого из видов отказов и кумулятивный (накопленный) процент отказов.



Количество отказов,

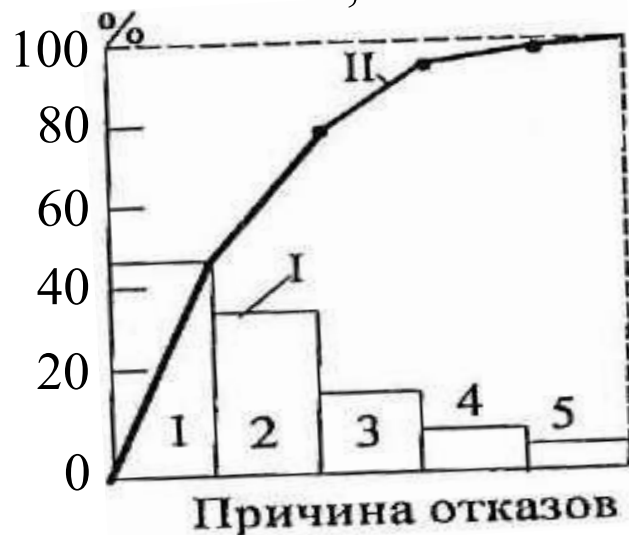


Рис. 1.1. Диаграмма Парето:

*I* – гистограмма распределения отказов; *II* – кумулятивный процент отказов

На рис. 1.1 представлена диаграмма Парето для основных видов отказов судовых грузовых электрогидравлических кранов:

**1 – 47 %** отказов обусловлено нарушением герметичности соединений и уплотнений с учетом ослабления затяжки крепежа;

**2 – 31 %** - механическими повреждениями элементов корпуса стропы платформы;

**3 – 14 %** - заклиниванием золотника и клапанов;

**4 – 5 %** - выходом из строя электрооборудования;

**5 – 3 %** - ослаблением крепежа сервопривода.

На основании анализа надежности оборудования по данным эксплуатации разрабатывается перечень мероприятий, необходимых для исключения выявленных отказов.