

Безопасность и надежность технических систем	Лекция 1. Основные понятия и определения
--	--

1 СТРУКТУРА КУРСА

Лекции	24 часа
Практические занятия	24 часа
Контрольные работы	2

Литература

Любые учебники по теории надежности

Для англоязычных студентов

Reliability theory and practice. / Igor Bazovsky.

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.b4144220;view=1up;seq=11>

1.1 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ

Что такое надежность? В словарях и энциклопедиях можно найти различные толкования этого слова, относящегося к категории таких абстрактных понятий, как красота, добро или честность. Абстрактные понятия для разных людей имеют различное содержание и трудно поддаются определению. То, что кажется прекрасным одному человеку, другому может показаться уродливым. Понятия, которые трудно определить, еще труднее измерить.

Однако в технике и математической статистике надежность имеет вполне точное значение. Она может быть не только точно определена, но и рассчитана, объективно оценена, измерена, испытана и даже распределена между отдельными частями аппаратуры. Таким образом, для инженеров надежность отнюдь не абстракция, а нечто принадлежащее суровой действительности. Она имеет для нас такое же значение, как рабочие характеристики аппаратуры, а очень часто она даже важнее этих характеристик.

Основные термины и понятия надежности приведены в ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения».

Надежностью называется свойство объекта выполнять и сохранять во времени заданные функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

Термин «надежность» часто смешивается с термином «безопасность». Оба этих понятия связаны с анализом работоспособности и отказов технических объектов, изучением их причин и развития.

Однако если надежность оборудования по определению предполагает только возможность выполнения заданных функций, то безопасность связана с возможностью нанесения ущерба другим объектам и окружающим людям.

Например, анализ надежности химического реактора предполагает изучение возможности его перегрева вследствие нарушений в работе насосов, теплообменников, системы управления и т.д., а также ошибок оператора. Анализ же безопасности должен включать также оценку возможности взрыва реактора вследствие изменения температуры, а также его последствий для оборудования и людей.

Одной из целей анализа риска является оценка вероятности возможных последствий из-за отказов в системе.

Надежность – комплексное свойство, включающее в себя в зависимости от назначения и условий эксплуатации объекта свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени.

Так как основное назначение объекта – выполнение предназначенных ему функций в течение определенного промежутка времени, то безотказность отражает основное содержание надежности. Поэтому свойство безотказности иногда называют *эксплуатационной надежностью* или даже отождествляют с надежностью вообще.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта.

Критерии предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией. Невосстанавливаемые объекты достигают предельного состояния при первом отказе, восстанавливаемые - когда их дальнейшая эксплуатация невозможна или нецелесообразна по соображениям безопасности или эффективности.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей, к восстановлению работоспособности с помощью технического обслуживания или ремонтов объекта.

Сохраняемость - свойство объекта непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение хранения и транспортирования.

В зависимости от назначения, условий эксплуатации и фазы существования объекта (этапа его «жизненного цикла») свойства надежности могут иметь различную относительную значимость (рис.1.1). Например, оборудование, предназначенное для ликвидации критических ситуаций (предохранители, предохранительные клапаны, мембраны, датчики и т.д.), длительное время находящиеся в режиме «ожидания», должны оцениваться показателями

всех четырех свойств. Для манжет, сальников и уплотнений основные свойства – долговечность и сохраняемость. Одно и то же оборудование в зависимости от назначения может характеризоваться различными свойствами. Например, ЭВМ, управляющая сложным и опасным технологическим процессом, должна быть, прежде всего, безотказна, а та же ЭВМ, используемая для вычислений, является восстанавливаемым объектом (в случае сбоя любая операция может быть повторена) и ее безотказность может быть не очень высокой.



Рис. 1.1. Схема взаимосвязей свойств надежности и этапов жизненного цикла

Надежность любого технического объекта изменяется в процессе его применения, хранения, транспортирования, технического обслуживания и ремонта. В течение всего срока службы объект может находиться в одном из нескольких состояний: исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном и предельном. Общая схема состояний и событий в процессе эксплуатации объекта приведена на рис.1.2.

Исправное состояние – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. Состояние, при котором он не соответствует хотя бы одному из них, называется *неисправным*.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и конструкторской документации. Состояние, при котором значение хотя бы одного параметра не соответствует требованиям, называется *неработоспособным*.

Работоспособный объект (в отличие от исправного) должен удовлетворять только тем требованиям, выполнение которых обеспечивает его применение по назначению. Очевидно, работоспособный объект может быть неисправным (например, ухудшение внешнего вида объекта не обязательно препятствует его применению).



Рис. 1.2. Схема состояний и событий в процессе эксплуатации объекта

В сложных объектах возможно более подробное деление состояний объекта с выделением промежуточных (частично неработоспособных) состояний с пониженными уровнями качества функционирования

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

Состояние, при котором он не соответствует хотя бы одному из них, называется *неисправным*.

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

Состояние, при котором значение хотя бы одного параметра не соответствует требованиям, называется *неработоспособным*.

Безопасность и надежность технических систем	Лекция 1. Основные понятия и определения
--	--

Работоспособный объект (в отличие от исправного) должен удовлетворять только тем требованиям, выполнение которых обеспечивает его применение по назначению. Очевидно, работоспособный объект может быть неисправным (например, ухудшение внешнего вида объекта не обязательно препятствует его применению).

В сложных объектах возможно более подробное деление состояний объекта с выделением промежуточных (частично неработоспособных) состояний с пониженными уровнями качества функционирования.

Особым видом неработоспособного состояния является *предельное состояние*, при котором дальнейшее применение объекта по назначению или восстановление исправного (работоспособного) состояния недопустимо или нецелесообразно. Понятие предельного состояния допускает различные толкования в зависимости от вида, назначения и условий эксплуатации объекта.

Критерий предельного состояния должен быть установлен в нормативно-технической и конструкторской документации в виде признака или совокупности признаков, после появления которых эксплуатация должна быть прекращена.

В одних случаях причиной прекращения эксплуатации (*критерием предельного состояния*) может быть моральный износ, в других - чрезмерное снижение эффективности, которое делает эксплуатацию объекта экономически нецелесообразной, в третьих – снижение показателей безопасности ниже предельно допустимого уровня и т.д.

Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение его применения. Для неремонтируемых объектов возможны предельные состояния двух видов. Первый из них совпадает с неработоспособным состоянием. Второй наступает раньше возникновения отказа и связан с повышением опасности или вредности дальнейшего использования объекта. Для ремонтируемых объектов иногда выделяются три вида предельных состояний. При первых двух требуется средний или капитальный ремонт, третий вид предполагает окончательное прекращение применения объекта по назначению, т.е. списание.

Переход объекта из одного состояния в другое происходит вследствие повреждений и отказов, восстановления и ремонта.

Повреждение - нарушение исправного состояния объекта при сохранении работоспособного. Переход объекта из исправного состояния в неисправное происходит вследствие *дефекта*.

Отказ - нарушение работоспособного состояния объекта. *Критерием отказа* может быть признак или совокупность признаков, установленные в нормативно-технической и конструкторской документации.

Ремонт - восстановление исправного или работоспособного состояния объекта, главным образом характеристик его сохраняемости и долговечности (срока службы и ресурса). В результате ремонта происходит полное или частичное восстановление технико-эксплуатационных характеристик объекта. Ремонт характеризуется видами ремонта (текущий, средний и капитальный), полнотой восстановления характеристик объекта, правилами назначения межремонтного ресурса, методами и средствами ремонта.

Текущий ремонт направлен на устранение отказов и неисправностей, возникающих при эксплуатации, средний и капитальный - на восстановление частично или полностью израсходованного ресурса объекта.

Кроме указанных состояний технических объектов в зависимости от условий применения (эксплуатации) и принятой системы технического обслуживания выделяются режимы эксплуатации, в которых они могут находиться: хранение (ожидание), контроль технического состояния, техническое обслуживание, подготовка к применению, применение и др.

Каждый из них характеризуется определенной целевой направленностью организационных и технических мероприятий. Каждый из режимов связан с комплексом воздействий, изменяющих техническое состояние объекта, однако в одних случаях эти изменения осуществляются целенаправленно и являются управляемыми (ремонт, техническое обслуживание и др.), а в других изменения происходят эволюционно под воздействием внешних воздействий, окружающей среды, обрабатываемых или перерабатываемых материалов и т.д. (хранение, транспортировка и др.).

Режим хранения обеспечивает содержание объекта в определенном состоянии готовности к применению и сохранение в заданных пределах его технико-эксплуатационных характеристик. Режим характеризуется условиями хранения (температура, влажность, вибрации и т.д.) и их стабильностью, сроками хранения в различных условиях, видами работ, выполняемых при хранении, способами оценки технического состояния и правилами принятия решения о смене режима. В процессе хранения, как правило, происходит физическое старение объекта, в результате чего ухудшается его техническое состояние - деградация.

Контроль технического состояния предназначен для диагностирования и оценки пригодности объекта к дальнейшему использованию. Режим характеризуется используемыми видами инструментального контроля, способами оценки технического состояния и их достоверностью.

Техническое обслуживание направлено на предупреждение возможных отказов объекта, повышение сохраняемости, поддержание заданного уровня исправности.

В ходе технического обслуживания осуществляется мелкий ремонт, выявляются частичные нарушения (дрейф параметров, разрегулировки и др.), которые устраняются регулировкой, проводятся профилактические замены отдельных элементов, в результате чего происходит восстановление технического состояния. Основными характеристиками этого режима являются полнота восстановления, методы обнаружения предотказовых состояний, способы регулировки и др.

Подготовка к применению заключается в переводе объекта из состояния хранения (ожидания) в состояние готовности к применению. Характеристиками режима служат объем работ по подготовке объекта к применению, включая транспортировку, способы оценки технического состояния и правила принятия решений о его пригодности к применению.

Применение объекта по назначению (эксплуатация) характеризуется условиями функционирования, технико-экономическими показателями эффективности, способами оценки технического состояния и правилами принятия решения о дальнейшем использовании объекта.

Перечень и последовательность возможных состояний объекта и режимов эксплуатации зависит от условий его применения и принятой схемы технического обслуживания. Переходы технических объектов из одного состояния (или режима) в другое могут быть обратимыми и необратимыми.

Различные состояния и переходы из одного состояния в другое могут быть описаны с помощью графа, вершины которого изображают состояния объекта и режимы эксплуатации, а ребра – переходы между ними.

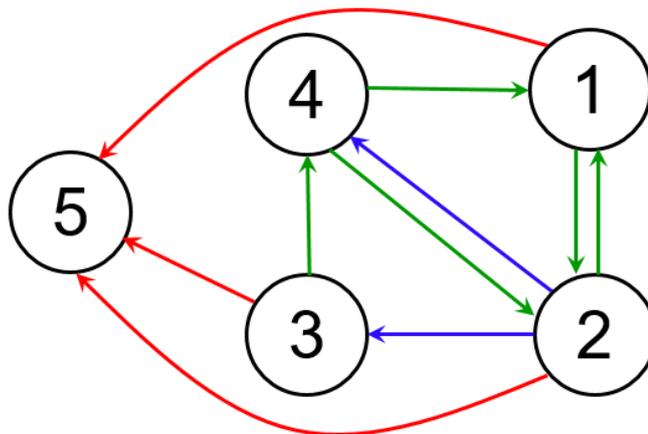


Рис. 1.3. Типичный граф состояний объекта.

1 – хранение (работоспособное состояние ожидания), 2 – применение (использование по назначению), 3 – отказ, 4 – ремонт, 5 – предельное состояние.

1.1.3. Классификация объектов по надежности

В основу классификации технических объектов по надежности могут быть положены различные критерии. В соответствии с ГОСТ 27.002-2015 объекты разделяются на восстанавливаемые и невосстанавливаемые, ремонтируемые и неремонтируемые, обслуживаемые и необслуживаемые.

Восстанавливаемый объект – объект, для которого проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и конструкторской документации. Для *невосстанавливаемого объекта* восстановление не предусматривается.

Ремонтируемый объект – объект, для которого проведение ремонтов предусмотрено в нормативно-технической и конструкторской документации. Для *неремонтируемого объекта* ремонты не предусматриваются.

Обслуживаемый объект – объект, для которого проведение технического обслуживания предусмотрено в нормативно-технической и конструкторской документации. Для *необслуживаемого объекта* обслуживание не предусматривается.

Классификация технических объектов может отражать серьезность *последствий отказа* и, соответственно, допускаемую вероятность безотказной работы (табл.1.1). В этом случае безотказность определяется по наиболее ответственным узлам и системам объекта.

Например, в пассажирском самолете может отказать шасси, может снизиться коэффициент полезного действия двигателя, может сломаться пассажирское кресло. В первом случае последствия могут быть катастрофическими, во втором возможен экономический ущерб, в третьем серьезных последствий практически не будет, и хотя в каждом из этих случаев допустимая вероятность безотказной работы должна быть разной, в целом самолет по последствиям отказов должен быть отнесен к первому классу.

Таблица 1.1

Классификация объектов по последствиям отказа

Последствия отказа	Допустимая вероятность безотказной работы	Примеры
Катастрофические: аварии, катастрофы, невыполнение ответственного задания.	$p(t) \rightarrow 1,0$	Летательные аппараты, подъемно-транспортные машины, военная техника, химическое и медицинское оборудование.

Безопасность и надежность технических систем	Лекция 1. Основные понятия и определения
--	--

Экономический ущерб: повышенные простои, работа на пониженных режимах или с ухудшенными показателями.	$p(t) > 0,9$ (при значительном ущербе $p(t) > 0,99$)	Технологическое оборудование, сельскохозяйственные и бытовые машины.
Без серьезных последствий (ремонтные затраты в пределах нормы)	$p(t) < 0,9$	Отдельные узлы и элементы оборудования.

При классификации объектов по *долговечности* оценивается их способность сохранять в течение определенного времени или наработки значения основных параметров, перечень которых зависит от категории и назначения объекта (табл.1.2). Потеря или снижение основных показателей объекта определяет его ресурс до капитального ремонта или списания (т.е. долговечность) и затраты на восстановление работоспособности.

Таблица 1.2

Классификация объектов по долговечности [7]

Категории оборудования	Назначение	Основные параметры
Технологическое: станки, прессы, сварочные агрегаты, текстильное, пищевое, полиграфическое оборудование, сельскохозяйственные и дорожно-строительные машины	Изменение формы и свойств объектов труда	Качество продукции, производительность
Химико-технологическое: машины и аппараты химических производств, металлургическое оборудование	Получение новых веществ и материалов	Качество продукции, производительность, безопасность
Транспортное: автомобили, самолеты, железнодорожный и водный транспорт, подъемно-транспортные машины	Перемещение объектов	Скорость, безопасность, грузоподъемность
Энергетическое: электродвигатели, двигатели внутреннего сгорания, реактивные двигатели, турбины	Преобразование энергии	Коэффициент полезного действия, мощность
Контрольно-измерительное: измерительные приборы, сортировочные автоматы, испытательные машины	Контроль параметров объекта	Точность измерений

Безопасность и надежность технических систем	Лекция 1. Основные понятия и определения
--	--

Счетно-решающее: электронно-вычислительные цифровые и аналоговые машины, компьютеры, калькуляторы	Решение математических задач и вычисления	Правильность и точность решений
Военное: орудия, ракеты, танки, военная авиация	Поражение объекта	Выполнение боевого задания
Медицинское: искусственные органы, хирургические агрегаты	Восстановление здоровья человека	Точность функционирования, безотказность