
ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

АМЭ	— активный многофакторный эксперимент
АС	— анализатор спектра
АСИ	— автоматизированная система испытаний
АСК	— алгоритмы статистической классификации
АСОУ	— автоматизированная система управления административно-организационного типа
АСУ	— автоматизированная система управления
АСУТП	— автоматизированная система управления технологическими процессами
АСУЭ	— автоматизированная система управления эксплуатацией
АЭ	— алгоритмы экстраполяции
ВБР	— вероятность безотказной работы
ВРС	— вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии
ЕСКД	— единая система конструкторской документации
ЗИП	— запасные инструменты и приспособления
КДИ	— конструкторско-доводочные испытания
КПЭО	— комплексная программа экспериментальной отработки
КР	— капитальный ремонт
КТ	— контрольная точка
КТОиР	— комплексные ТО и ремонт
ЛА	— летательный аппарат
ЛКИ	— летно-конструкторские испытания
ЛО	— летная отработка
МВ	— малая выборка
НАИ	— наземные автономные испытания
НКИ	— наземные комплексные испытания
НТД	— нормативно-техническая документация
ООС	— объекты окружающей среды
ООСТС	— оборудование, обеспечивающее функционирование СТС
ОРС	— область работоспособности

ОТС	—	организационно-техническая система
ПОБ	—	программа обеспечения безопасности
ПОН	—	программа обеспечения надежности
ПТО	—	персонал специальных технических подразделений эксплуатирующей организации, подготовленный к выполнению технического обслуживания и ремонта
ПФЭ	—	полный факторный эксперимент
Р	—	ремонт
РО	—	ремонтный орган
РР	—	регламентированный ремонт
РТО	—	регламентированное ТО
СМО	—	система массового обслуживания
СМТО	—	система материально-технического обеспечения
СО	—	сезонное техническое обслуживание
СР	—	средний ремонт
ССС	—	структурно сложная схема надежности
СТС	—	сложная техническая система
СЭ	—	система эксплуатации
ТЗ	—	технические задания
ТО	—	техническое обслуживание
ТПЭ	—	теория планирования эксперимента
ТР	—	текущий ремонт
ТС	—	техническая система
ТТЗ	—	тактико-техническое задание
ТТХ	—	тактико-технические характеристики
ЭД	—	эксплуатационная документация
ЭП	—	персонал, непосредственно эксплуатирующий техническую систему
ЭТ	—	эксплуатационная технологичность
ЭТХ	—	эксплуатационно-технические характеристики

ВВЕДЕНИЕ

Большая часть того, что создает человек — вещи, инструменты, сооружения, технические агрегаты и системы — предназначена для дальнейшего использования.

Жизненный цикл любого изделия можно разделить на этапы разработки идеи, конструирования, производства, эксплуатации и утилизации. Очевидно, что ключевым, главным этапом является эксплуатация, поскольку именно она определяет набор потребительских свойств изделия и предъявляет к ним требования. Несомненно, что остальные этапы также важны: свойства изделия закладываются тогда, когда человек свое произведение придумывает и делает, т. е. на этапах разработки идеи, конструирования и производства.

К сожалению, все материальные изделия, создаваемые человеком, рано или поздно приходят в негодность. Необходимость использования, стоимость и принятые конструктивные и технологические решения, а также стоимость последствий от отказа изделий определяют интервал времени, в течение которого эти произведения рук человеческих сохраняются, поддерживаются в работоспособном состоянии и применяются по назначению.

Обычно дорогостоящие и сложные изделия стараются использовать достаточно долго, чтобы окупить вложенные в них финансовые и материальные средства и затраты труда. Если же изделие не очень дорого, то менять его можно достаточно часто. В обоих случаях при отказе может произойти весьма значительный ущерб либо от поломки

изделия, либо от невыполнения целевой задачи. В связи с этим возникает вопрос, насколько долго и с какой степенью уверенности в результате можно использовать изделие. Иными словами, при эксплуатации практически любого, в особенности технического, изделия возникает проблема его надежности.

Приборы и системы лучевой энергетики и их системы управления — сложные технические изделия. Их сложность проявляется при проектировании, производстве и эксплуатации. Оценка надежности любой сложной технической системы — нетривиальная задача, для решения которой могут служить, в зависимости от целей определения надежности и имеющейся информации, различные подходы, методы и методики.

Рассматривая приборы и сложные технические системы, необходимо определять понятия дефекта и отказа, предельного состояния, методы расчета или оценки их надежности.

Любая современная сложная техническая система не обходится без микропроцессорных систем управления и, следовательно, зависит от качества и надежности функционирования программного обеспечения. Если технической системой управляет человек, то зачастую именно он оказывается слабым звеном в системе.

В связи с этим проблема надежности сложных технических систем — весьма и весьма непростая комплексная проблема, при решении которой необходимо учитывать технические, информационные, биологические, психологические и другие факторы.

Учебник состоит из трех частей. В первой рассматриваются комплексные характеристики технических систем (ТС): такие, как надежность и готовность, и входящие в них характеристики безотказности, долговечности, сохраняемости и эксплуатационной технологичности, а также показатели этих характеристик. Обсуждаются некоторые методы повышения надежности технических систем на этапах конструирования, производства и поддержания надежности на этапе эксплуатации. Затрагиваются вопросы надежности программного обеспечения.

Вторая часть посвящена определению и оценке технического состояния систем, методам его контроля, диагностирования и прогнозирования, получения информации о состоянии, а также испытаниям технических систем.

В третьей части обсуждаются вопросы обеспечения надежности технических систем на этапе эксплуатации, принципы организации системы эксплуатации, приводятся материалы по принципам организации и стратегиям технического обслуживания и ремонта техники, влиянию технического обслуживания и ремонта на процесс эксплуатации и эксплуатационно-технические характеристики, моделям ремонтных органов и их функционирования. В эту же часть вошли вопросы организации технической эксплуатации, а также простейшие стратегии функционирования системы материально-технического обеспечения эксплуатации и их влияние на эксплуатационно-технические характеристики.

Материал введения написан авторами совместно. Д. т. н., профессором А. Н. Мироновым и к. т. н., доцентом О. Л. Шестопаловой написаны подразделы 1.1, 1.2, 3.1, 10.1, 10.2, 11.1, 11.2, 11.3; к. т. н., доцентом В. А. Керножицким — подразделы 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 2.1.3, 10.3; к. т. н., доцентом А. Н. Дороховым — разделы 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 14 и подразделы 3.2, 3.3, 10.4, 10.5, 11.4.

Учебник базируется на трудах научной школы надежности, которую в разные годы возглавляли профессора Н. М. Седякин и А. Я. Маслов, большой вклад в деятельность которой внесли профессора Г. И. Владимирович, А. А. Воронин, В. А. Зеленцов, В. А. Смагин, доценты Б. С. Абраменко, В. К. Бочкарев, А. Г. Гуца, В. А. Козеев, Л. Н. Немудрук, В. С. Солдатенко, В. З. Сябаров и многие другие. В основу учебника положены материалы лекций, читавшихся авторами в различных вузах более двадцати лет.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

**КОМПЛЕКСНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТЕХНИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**



НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При обсуждении любой темы, связанной с научно-техническим прогрессом, техникой или бытовыми товарами, постоянно звучит термин «качество».

Качество технической системы — это совокупность ее свойств, обуславливающих пригодность системы к удовлетворению определенных потребностей в соответствии с ее назначением.

Технические системы в своем жизненном цикле проходят этапы разработки замысла создания системы, конструирования, производства, эксплуатации и утилизации.

Из определения понятия «качество» следует, что любая техническая система служит в соответствии с ее назначением для удовлетворения определенных потребностей людей. Это предназначение системы осуществляется на этапе ее использования, т. е. эксплуатации. Поэтому эксплуатация — важнейший этап в жизненном цикле любой технической системы или любого другого изделия. Однако свойства, обуславливающие пригодность системы, в большинстве своем зависят от того, как она была сконструирована и как ее изготовили. В связи с этим этапы конструирования и производства определяют качество этапов жизненного цикла, но оценивать их успешность можно только по результатам эксплуатации системы.

Количественные характеристики качественных свойств называют показателями качества технических систем. Качество — сложное свойство, поэтому его показатели при-

нято делить на группы. Основные группы показателей качества:

1. Показатели назначения, которые характеризуют свойства продукции, определяющие ее целевые функции и обуславливающие область ее применения.

2. Эргономические показатели, которые характеризуют взаимодействие человека с техникой.

3. Показатели надежности, определяющие свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, от которых зависит способность выполнять целевые функции.

4. Показатели экологические, безопасности, технологичности, стандартизации и унификации, патентно-правовые и т. д.

Показатели технических характеристик должны быть:

- представительными, т. е. давать оценку всем или хотя бы основным процессам;
- критичными к исследуемым параметрам;
- поддаваться четкой физической интерпретации;
- простыми и, желательно, единственными.

Для техники наибольшее значение имеют тактико-технические (ТТХ) и эксплуатационно-технические характеристики (ЭТХ).

Тактико-технические характеристики определяют возможности систем с точки зрения их использования по назначению. Эти характеристики всецело зависят от того, как сложная техническая система была спроектирована и с каким качеством сделана. Рассмотрение этой группы характеристик выходит за рамки учебника.

Эксплуатационно-технические характеристики устанавливают эксплуатационные свойства сложных технических систем и их поведение в процессе эксплуатации. Они включают в себя группы эргономических характеристик и характеристик надежности. Для поддержания ЭТХ сложных ТС на требуемом уровне создается система эксплуатации.

Эксплуатация любой сложной технической системы не обходится без участия человека. Поэтому при создании и эксплуатации техники необходимо учитывать эргономи-

ческие свойства человека. *Эргономические свойства человека* — это комплекс антропометрических, физиологических, психофизиологических, психологических свойств человека, обуславливающих эффективность его деятельности в системе «человек–техника–среда».

Для оценки степени соответствия технического объекта эргономическим требованиям вводятся эргономические показатели качества. Важность их учета в эргатических системах обусловлена неразрывной связью между качеством труда человека-оператора и качеством объекта. Она заключается в том, что самые современные изделия могут оказаться бесполезными без учета эргономических требований.

Важно знать и учитывать предельно допустимые величины воздействующих на человека факторов, превышение которых приводит к биологическому отказу (полному или частичному, обратимому или необратимому).

К сожалению, методы оценки даже ориентировочной количественной эргономичности пока разработаны недостаточно. Это обусловлено большим количеством факторов, влияющих на эргономичность, а также сложностями формализованного описания воздействия этих факторов.

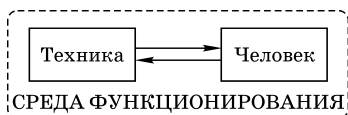


Рис. 1
Эргатическая система

Система эксплуатации техники — эргатическая система (рис. 1), функционирующая в условиях среды. Для ее описания и анализа используют три группы характеристик.

1. Характеристики системы «человек–среда» определяют общие возможности человека при эксплуатации систем данного класса. При этом рассматривают характеристики:

а) человека-оператора, определяющие, на что способен оператор в данных условиях и можно ли допустить работу в этих условиях с точки зрения функционирования систе-

мы. Эта группа характеристик называется «антропотехнические»;

б) оценивающие влияние среды на возможности человека выполнять те функции, к которым он в данной ТС предназначен. Эту подгруппу называют «характеристики обитаемости». Исследование характеристик обитаемости получило широкое распространение в областях человеческой деятельности, в которых необходимо применять сложные технические системы: энергетике, в том числе ядерной и лучевой, на транспорте, в особенности воздушном и морском, в вооруженных силах — при определении свойств и особенностей подводных лодок, бункеров, шахтных пусковых установок и т. п.

2. Характеристики системы «техника–среда» или эксплуатационно-технические определяют эксплуатационные свойства аппаратуры в реальных условиях ее эксплуатации. Человек при этом выступает как один из элементов среды. В число ЭТХ включают частные характеристики надежности и эксплуатационной технологичности.

ЭТХ предназначены для оценки эксплуатационных качеств технических средств. Каждая из характеристик дает одностороннюю оценку этих качеств.

3. Комплексные характеристики системы учитывают взаимодействие человека с машиной в условиях среды при выполнении определенной целевой задачи. Они служат для оценки приспособленности технической системы к выполнению целевых задач и системы эксплуатации — к поддержанию технической системы в этом состоянии. С их помощью можно оценить эксплуатационные качества системы наиболее полно. Среди многих необходимо отметить характеристики безопасности, надежности ТС, эффективности процесса целевой эксплуатации, готовности ТС к применению.

Одна из важнейших комплексных характеристик — **безопасность** — свойство технической системы сохранять безопасное для обслуживающего персонала состояние при соблюдении установленных правил эксплуатации.

Наиболее полной комплексной характеристикой является эффективность применения системы.

Эффективность — это комплексное операционное свойство (качество) процесса функционирования технической системы, характеризующее ее приспособленность к решению стоящей перед нею целевой задачи.

Среди комплексных есть характеристики, учитывающие более простые свойства. Например, надежность и готовность.

Готовность — свойство технической системы, отражающее ее приспособленность к переводу из любого исходного состояния в состояние непосредственного применения по назначению. Готовность — это свойство технической системы выполнять заданные функции в произвольный момент времени.

Готовность — основная комплексная характеристика системы эксплуатации многих ТС, в том числе систем энергетики, связи, вооружения и военной техники, поскольку позволяет учитывать особенности эксплуатации.

При эксплуатации техники, как правило, решается ряд задач, с выполнением каждой из которых может быть связан свой частный показатель готовности, который может быть учтен в общем показателе готовности системы.

В решении целевых задач обычно участвует несколько подсистем и общий эффект определенным образом зависит от показателей функционирования каждой из составных частей системы.

Для количественной оценки характеристик сложной техники используют числовые характеристики, которые определяют уровень конкретного свойства. Эти числовые характеристики называют показателями. Основными исходными показателями характеристик техники являются время и/или стоимость. Эти величины являются случайными и для их оценки необходимо пользоваться законами распределения или числовыми характеристиками этих законов. Показатели характеристик также выражают в виде вероятностей превышения заданного уровня или гарантированного значения, которое случайная величина, выбранная в качестве исходного показателя качества технической системы, превысит или не достигнет с заданной вероятностью.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ

Одним из важнейших свойств, определяющих качества техники, является ее надежность.

Теория надежности — наука о методах обеспечения и сохранения надежности при проектировании, изготовлении и эксплуатации объектов (технических систем и их элементов) с требуемой эффективностью. Основной задачей теории надежности является разработка количественных методов оценки надежности и определение наиболее рациональных методов обеспечения требуемого уровня надежности создаваемых и вводимых в эксплуатацию объектов. Характерной чертой теории надежности является то, что процесс обеспечения надежности рассматривается как единый процесс, охватывающий этапы проектирования, отработки, серийного производства и эксплуатации и заключающийся в разработке и внедрении мероприятий, направленных на достижение требуемого уровня надежности при минимальных затратах.

Возникновение проблемы надежности обусловлено в основном следующими причинами: ростом сложности технических систем, возрастающей «ценой» отказа, сложностью условий, в которых эксплуатируются и применяются технические системы, повышением степени механизации и автоматизации, полным или частичным исключением человека — оператора.

В развитии теории надежности выделяется два основных направления. Первое связано с разработкой методов обеспечения и расчета надежности техники, второе — с разработкой методов проектирования высоконадежных систем, обычно называемое проектированием или синтезом систем по надежности.

Математически первое направление определяет решение «прямой» задачи надежности

$$P(t) = \frac{\sup P(t)}{C(\cdot)} \leq C_s,$$

а второе направление определяет решение «обратной» задачи надежности

$$C(\cdot) = \frac{\inf C(\cdot)}{P(t)} \geq P_3,$$

характеризующей поиск оптимальных решений в определенных эксплуатационных, технических и экономических условиях, где C_3 — заданное значение стоимости ресурсов, выделяемых на обеспечение надежности, являющейся функцией $C(\cdot)$ стоимости многих переменных; P_3 — заданное значение показателя надежности; $\sup P(t)$, $\inf C(\cdot)$ — верхняя и нижняя границы функций $P(t)$ и $C(\cdot)$ соответственно.

Таким образом, появление и первые шаги теории надежности обусловлены конкретными практическими задачами. Наука возникла из практики и призвана обеспечить решение практических задач. С другой стороны, под влиянием теории надежности изменились принципы проектирования систем, появились новые методы проектирования и испытаний, разработаны новые элементы, найдены материалы, обладающие гораздо лучшими характеристиками и т. д. Следовательно, на примере развития теории надежности прослеживается диалектическое единство теории и практики.

При повышении надежности улучшается использование выпускаемой техники, так как сокращаются ее простои из-за отказов и связанные с ними экономические потери из-за простоев в процессе эксплуатации, а также необходимости производства ремонтов и профилактик. В результате этого снижается как число отказов, так и «цена» каждого отказа, что приводит к повышению эффективности процессов эксплуатации и применения техники.

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

В определении подчеркнуты следующие особенности: во-первых, непрерывность выполнения объектом заданных функций (т. е. когда объект хранится, обслуживается, ремонтируется, надежность его можно не рассматри-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru