

Основные понятия

Теория надежности является прикладной технической наукой. Она изучает общие закономерности, которых следует придерживаться при проектировании, изготовлении, испытаниях и эксплуатации объектов для получения максимальной эффективности и безопасности их использования.

В теории надежности исследуются закономерности возникновения отказов объектов, восстановления их работоспособности, рассматривается влияние внешних и внутренних воздействий на процессы, происходящие в объектах, разрабатываются методы расчета систем на надежность, прогнозирования отказов, ищутся способы повышения надежности при проектировании и эксплуатации объектов, а также способы сохранения надежности при эксплуатации, определяются методы сбора, учета и анализа статистических данных, характеризующих надежность.

В теории надежности вводятся показатели надежности объектов, устанавливается связь между ними и экономической эффективностью и безопасностью, обосновываются требования к надежности с учетом различных факторов, разрабатываются рекомендации по обеспечению заданных требований на этапах проектирования, изготовления, испытаний, хранения и эксплуатации, решаются эксплуатационные задачи надежности: обоснование сроков и объема профилактических мероприятий и ремонтов, обеспечение запасными элементами, узлами, инструментом и материалами, диагностический контроль и отыскание неисправностей и т.д.

Основные термины и определения теории надежности, в том числе и понятие надежности, установлены ГОСТ Р 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения». В этом стандарте использован обобщенный термин «изделие», под которым понимают любую функциональную единицу, которую можно рассматривать в отдельности. Примерами изделий могут быть система, подсистема, оборудование, устройство, аппаратура, узел, деталь, элемент.

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 транспортировки.

В данном определении имеются следующие особенности. Во-первых, подчеркнута непрерывность выполнения объектом заданных функций. В этом аспекте нет смысла говорить о надежности объекта, например, во время проведения на нем планово-предупредительных работ (ППР), ремонтов, замены оборудования, освидетельствований и других мероприятий, связанных с остановом реактора. Ибо в это время объект не выполняет своих функций, а именно, не выдает электроэнергию и промышленное тепло, не перевозит грузы и пассажиров и т.д. Во-вторых, в определение надежности включено

понятие «установленные пределы». Сложная система при отказе отдельных элементов или подсистем сохраняет свою работоспособность и может обеспечивать своих потребителей, например, энергией, но в меньшем количестве.

В-третьих, надежность объекта целесообразно определять за определенные промежутки времени, например, между перегрузками топлива, за время работы на заданном уровне мощности, за время до прекращения эксплуатации и др.

В теории надежности изделия разделяют на восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

Восстанавливаемое изделие – это изделие, которое при данных условиях после отказа может быть возвращено в состояние, в котором оно может выполнять требуемую функцию. «Данные условия» могут включать климатические, технические или экономические обстоятельства. К параметрам, характеризующим способность изделия выполнять требуемые функции, относят кинематические и динамические параметры, показатели точности функционирования, производительности, скорости и т.п. В противном случае, если изделие не может быть возвращено в состояние, в котором оно способно выполнять требуемую функцию, изделие является невосстанавливаемым.

Примерами восстанавливаемых изделий являются технологические системы и большинство составляющих ее элементов (механизмов и деталей), невосстанавливаемых – прокладки, манжеты, подшипники и др. Некоторые из указанных изделий, например, подшипники, в принципе, можно восстанавливать, но это не выгодно.

Готовность – это способность изделия выполнять требуемую функцию при данных условиях в предположении, что необходимые внешние ресурсы обеспечены. «Данные условия» могут включать климатические, технические или экономические обстоятельства. Необходимые внешние ресурсы (например, наличие источников энергии, квалифицированного персонала и др.), кроме ресурсов технического обслуживания, не влияют на свойство готовности.

Надежность – это свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания.

Надежность как свойство готовности характеризует и позволяет количественно оценить:

– текущее состояние изделия, в том числе технологической системы, ее механизмов и деталей;

– скорость изменения показателей качества технологической системы при ее работе в определенных условиях эксплуатации.

Важным с точки зрения надежности является рассмотрение возможных состояний изделия, к которым в первую очередь относятся работоспособное и неработоспособное состояния.

Работоспособное состояние – это состояние изделия, при котором оно способно выполнять требуемую функцию при условии, что предоставлены необходимые внешние ресурсы. Примером внешних ресурсов для технологической системы являются наличие соответствующих источников энергии, квалифицированного персонала и др.

Неработоспособное состояние – это состояние изделия, при котором оно неспособно выполнить требуемую функцию по любой причине. Причина может быть внутренней или внешней. Неработоспособное состояние по внутренней причине возможно, если изделие не способно выполнить требуемую функцию из-за внутренней неисправности или профилактического технического обслуживания. Неработоспособное состояние по внешней причине возникает при неспособности изделия выполнять требуемую функцию из-за отсутствия или нехватки внешних ресурсов. Например, неспособность металлорежущего станка выполнять требуемую функцию из-за отключения внешнего энергоснабжения.

Следует отметить, что технологическая система в одно и то же время может находиться в работоспособном состоянии по обеспечению параметров качества и в неработоспособном состоянии по обеспечению параметров производительности, или наоборот.

В сложных системах, к которым относится технологическая система, принято деление состояний изделия с выделением промежуточных состояний с понижением уровня качества функционирования. Стандартом ГОСТ Р 27.002 предусмотрены такие промежуточные состояния, как предельное и критическое.

Предельное состояние – это состояние изделия, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна по причинам безопасности, экономическим, экологическим.

Критическое состояние – это состояние изделия, которое может привести к тяжелым последствиям: травмированию людей, значительному материальному ущербу или неприемлемым экологическим последствиям.

Предельное и критическое состояния обусловлены тем обстоятельством, что начиная с некоторого момента времени, дальнейшее применение по назначению пока еще работоспособного изделия оказывается недопустимым по указанным выше причинам. Переход изделия в предельное или критическое состояние происходит раньше возникновения отказа. Для

невосстанавливаемых изделий наступление предельного или критического состояния влечет за собой прекращение применения изделия по назначению. Для восстанавливаемых изделий при наступлении предельного или критического состояния требуется либо восстановление изделия (отправка изделия в капитальный или средний ремонт, т.е. временное прекращение применения изделия по назначению), либо, в случае невозможности восстановления, предполагается окончательное прекращение применения изделия.

Для обеспечения надежности технологической системы используют резервирование. **Резервирование** – это способ повышения надежности изделия путем включения резервных элементов, способных в случае отказа основного элемента выполнить его функции. Этот способ обладает возможностями получения заданных уровней надежности и имеет широкое практическое применение.

Изменение состояния изделия. Классификация отказов

Изменение состояния изделия может происходить вследствие отказа, появления неисправности или повреждения. При этом понятие «отказ» является одним из главных понятий теории надежности.

Отказ – это потеря способности изделия выполнять требуемую функцию. Отказ является событием, которое приводит изделие к состоянию неисправности.

Неисправность – это состояние изделия, характеризующееся неспособностью выполнять требуемую функцию, исключая такую неспособность во время профилактического обслуживания или других запланированных действий, или из-за нехватки внешних ресурсов.

Повреждение – приемлемая для пользователя неполная способность изделия выполнять требуемые функции.

К повреждениям можно отнести отдельные нарушения в технологической системе, не приводящие к потере ее работоспособности. Например, повреждение лакокрасочного покрытия на отдельных элементах системы. Неустранение повреждения может привести систему к отказу.

Отказы классифицируют по признакам, приведенным в табл. 1

1. Классификация отказов

| Признак | Вид отказа |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Последствия, вызываемые отказом | Функциональный Параметрический |
| Характер возникновения | Внезапный Постепенный |
| Источник процессов, приводящих к отказам | Вследствие изнашивания Вследствие старения |
| Связь с отказом других элементов | Зависимый Независимый |
| Полнота выполнения требуемых функций | Полный Частичный |
| Причина возникновения | Конструктивный Производственный Эксплуатационный Систематический |

При **функциональном отказе** изделие прекращает выполнять заданные функции. При **параметрическом отказе** изменение выходных характеристик изделия превышает допустимые нормы.

Функциональный отказ технологической системы – это отказ, в результате которого наступает прекращение ее функционирования, не предусмотренное регламентированными условиями производства или конструкторской документацией. Функциональный отказ наступает в результате разрушения деталей станка, приспособления, инструмента и др. Это приводит к невозможности обеспечить, например, формообразующее движение резания и транспортировку заготовки.

Параметрический отказ технологической системы – это отказ, при котором сохраняется ее функционирование, но происходит выход значений одного или нескольких параметров технологического процесса за пределы, установленные в нормативно-технической или конструкторской и технологической документации. При эксплуатации технологическая система подвержена механическим, тепловым и другим воздействиям, способствующим снижению качества обработанных деталей и производительности обработки.

По характеру (закономерности) возникновения и возможности прогнозирования отказы разделяют на внезапные и постепенные.

Внезапный отказ возникает неожиданно и проявляется в скачкообразном изменении одного или нескольких заданных параметров изделия. Момент наступления внезапного отказа является случайным, не зависящим от продолжительности эксплуатации, и его невозможно прогнозировать. Примерами такого отказа для технологической системы является поломка инструмента вследствие колебания твердости материала заготовки, ошибка наладчика в настройке оборудования и т.д. Отличительной особенностью внезапных отказов является постоянство во времени их интенсивности.

Постепенный отказ проявляется в постепенном изменении одного или нескольких заданных параметров изделия. Причиной постепенных отказов обычно бывает износ, усталостные разрушения и другие постепенно нарастающие изменения в деталях и узлах изделия в процессе эксплуатации. К этому виду относится большинство функциональных отказов технологической системы, поскольку они связаны с изнашиванием, коррозией, усталостными разрушениями и другими процессами разрушения и деформирования элементов станка, приспособления и режущего инструмента. Время наступления постепенного отказа функционально связано с интенсивностью физико-механических процессов, происходящих при работе технологической системы. Зная ресурс детали или узла, а также применяя методы технического диагностирования, такой отказ можно предвидеть и предупредить своевременным техническим обслуживанием или ремонтом.

Постепенные отказы в зависимости от источника процессов, приводящих к неисправности, разделяются на отказы вследствие изнашивания и старения.

Отказ вследствие изнашивания – это отказ, вероятность возникновения которого возрастает с течением времени из-за накапливания ухудшений, вызванных прилагательными при использовании нагрузками. Примером могут служить функциональные отказы системы, вызванные износом подшипниковых узлов, направляющих, зубьев зубчатых колес, шлицевых и шпоночных соединений и др. **Изнашивание** – причина, определяющая срок службы технологической системы. К параметрическим отказам системы приводит износ режущего инструмента.

Отказ вследствие старения – это отказ, вероятность возникновения которого увеличивается из-за накапливающихся ухудшений с течением календарного времени. Применительно к ТС примерами этого вида отказов являются старение базовых деталей, сальников, прокладок и т.д.

По связи с отказами других элементов различают зависимые и независимые отказы.

Зависимый отказ – это отказ, вызванный другим отказом или неисправностью.

Независимый отказ – это отказ, не вызванный прямо или косвенно другим отказом или неисправностью.

В зависимости от полноты выполнения требуемых функций различают полные и частичные отказы.

Полный отказ – это отказ, характеризующийся потерей способности изделия выполнять все требуемые функции. Так, разрушение подшипника шпинделя приводит к остановке главного движения и к полному отказу системы.

Частичный отказ – это отказ, характеризующийся потерей способности изделия выполнять некоторые требуемые функции. Частичный отказ является событием, которое приводит к состоянию частичной неисправности. Например, поломка одного из инструментов многооперационного станка с ЧПУ приводит к частичной неисправности и, соответственно, частичному отказу станка – невозможности выполнения технологического перехода именно этим инструментом.

По причине возникновения отказы могут быть отнесены к одной из трех основных групп: конструкционные, производственные и эксплуатационные.

Конструкционный отказ возникает в результате несовершенства или нарушения установленных правил и (или) норм конструирования. Типичными ошибками конструирования являются: недостаточная защищенность узлов трения, наличие концентраторов напряжений, неправильный расчет несущей системы, неправильный выбор материала детали. Так, неправильный расчет на прочность наиболее нагружаемого сечения детали может привести к ее поломке и, соответственно, к отказу изделия.

Производственный отказ наступает при изготовлении или ремонте изделия из-за нарушения установленного технологического процесса: например, несоблюдение заданных параметров точности при изготовлении детали, входящей в изделие.

Эксплуатационный отказ вызывается несовершенством или нарушением правил и (или) условий эксплуатации. Несвоевременное проведение регулировок, применение несоответствующих требованиям смазочных материалов, использование изделия не по назначению – все это примеры нарушений правил эксплуатации, которые могут привести к отказам. Например, применительно к технологической системе несвоевременная настройка станка на размер может привести к параметрическому отказу системы.

Свойства надежности

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения изделия и условий его эксплуатации, может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, как в отдельности, так и в определенном сочетании этих свойств.

Безотказность – это способность изделия выполнять требуемую функцию в заданном интервале времени в данных условиях. Обычно предполагают, что в начале интервала времени изделие в состоянии выполнять требуемую функцию. «Данные условия» могут включать климатические, технические и экономические обстоятельства.

Долговечность – это способность изделия выполнять требуемую функцию до достижения предельного состояния при заданных условиях

использования и технического обслуживания. Для неремонтируемых изделий свойства безотказность и долговечность совпадают, так как их предельным состоянием является первый отказ. Ремонтируемое изделие после отказа может быть восстановлено, если это экономически целесообразно.

Для некоторых изделий, которые можно многократно ремонтировать, пределом долговечности обычно бывает экономическая целесообразность дальнейшей эксплуатации или моральный износ.

Различие свойств безотказности и долговечности в том, что безотказность – это способность изделия непрерывно сохранять работоспособное состояние, а долговечность – это свойство изделия сохранять работоспособное состояние с возможными перерывами для ремонта.

Ремонтоспособность – это способность изделия при данных условиях использования и технического обслуживания к поддержанию или восстановлению состояния, в котором оно может выполнять требуемую функцию.