

«Надежность технических систем и техногенный риск»

Слайд 1

Приступаем к изучению дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск».

Слайды 2-4

На слайдах приведены основные термины и определения.

Слайд 5

В данном курсе будут рассмотрены следующие темы.

- Тема 1. Понятие о надежности. Термины и определения.
- Тема 2. Состав и общие правила задания требований по надежности.
- Тема 3. Расчет надежности.
- Тема 4. Анализ видов, последствий и критичности отказов.
- Тема 5. Модели отказов.
- Тема 6. Классификация и выбор методов для анализа надежности.
- Тема 7. Анализ надежности различными методами.
- Тема 8. Методы анализа рисков.

Слайд 6

Тема «Понятие надежности. Термины и определения»

Интенсивное развитие техники и технологий в современном мире неизбежно связано с широким применением различных технических систем. В настоящее время применяемые технические системы выполняют множество сложных функций и решают ответственные задачи. Одним из важнейших условий, которому должна удовлетворять любая система, является безотказность ее работы в течение определенного промежутка времени. Отказ системы может привести к тяжелым последствиям. Особенно, если она решает вопросы контроля над сложными, тяжело управляемыми процессами с высокими уровнями риска ущерба.

Проблемами безотказной работы технических систем занимается теория надежности. Она изучает:

- критерии и количественные характеристики надежности;
- методы анализа надежности;
- методы синтеза систем по критериям надежности;
- методы повышения надежности;
- методы испытания систем на надежность;
- методы эксплуатации систем – обоснование режимов профилактических работ, норм запасных элементов; методов отыскания неисправностей, методов сбора и анализа статистических данных об отказах технических систем.

Основным средством количественного определения и сравнения оценки надежности является теория вероятностей, а основным методом – статистический метод.

Согласно государственному стандарту «Надежность в технике. Термины и определения» понятие «надежность» определяется следующим образом.

Слайд 7

Надежностью называют свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

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. В качестве подсистем могут рассматриваться сборочные единицы, детали, компоненты или элементы. При необходимости в понятие «объект» могут быть включены информация и ее носители, а также человеческий фактор. Например, при рассмотрении надежности системы «машина-оператор». Понятие «эксплуатация» включает в

себя, помимо применения по назначению, техническое обслуживание, ремонт, хранение и транспортирование.

Термин «объект» может относиться как к конкретному объекту, так и к одному из представителей группы объектов. В частности, к случайно выбранному представителю из серии, партии или статистической выборки однотипных объектов. На стадии разработки термин «объект» применяется к наугад выбранному представителю из совокупности объектов.

Данное определение не изменяет границ понятия «надежность». «Надежность – свойство объекта сохранять во времени способность к выполнению требуемых функций в заданных режимах и условиях эксплуатации, технического обслуживания, хранения и транспортирования».

Это определение применяют тогда, когда параметрическое описание нецелесообразно. Например, для простейших объектов, работоспособность которых характеризуется по типу «да-нет». Или при невозможности такого описания. Например, для систем «машина-оператор». То есть таких систем, не все свойства которых могут быть охарактеризованы количественно.

Надежность – комплексное свойство, состоящее в общем случае из безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости. Например, для неремонтируемых объектов основным свойством может являться безотказность. Для ремонтируемых объектов одним из важнейших свойств, составляющих понятие надежности, может быть ремонтпригодность.

Слайд 8

В течение всего срока службы объект может находиться в одном из нескольких состояний: в исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном, предельном.

Исправное состояние или исправность – состояние объекта, в котором он соответствует всем требованиям, установленным в документации на него.

Неисправное состояние или неисправность – состояние объекта, в котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в до-

кументации на него.

Работоспособное состояние – состояние объекта, в котором он способен выполнять требуемые функции.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, в котором он не способен выполнять хотя бы одну требуемую функцию по причинам, зависящим от него или из-за профилактического технического обслуживания.

Предельное состояние – состояние объекта, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Данные понятия охватывают основные технические состояния объекта. Каждое из них характеризуется совокупностью значений параметров, описывающих состояние объекта, а также качественных признаков, для которых не применяют количественные оценки. Номенклатуру этих параметров и признаков, а также пределы допустимых их изменений устанавливают в нормативно-технической и конструкторской документации.

Работоспособный объект в отличие от исправного должен удовлетворять лишь тем требованиям нормативно-технической и конструкторской документации, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению. Работоспособный объект может быть неисправным, например, если он не удовлетворяет эстетическим требованиям, причем ухудшение внешнего вида объекта не препятствует его применению по назначению.

Для сложных объектов возможны частично неработоспособные состояния, при которых объект способен выполнять требуемые функции с пониженными показателями или способен выполнять лишь часть требуемых функций.

Кроме того, для некоторых объектов признаками неработоспособного состояния являются отклонения показателей качества изготавливаемой ими продукции. Например, к неработоспособному состоянию может быть отнесено такое, при котором значение хотя бы одного параметра качества изготавливаемой продукции не соответствует требованиям.

Переход объекта из одного состояния в другое обычно происходит вследствие повреждения или отказа. Переход объекта из исправного состояния в неисправное работоспособное состояние происходит из-за повреждений.

Кроме того, объект может переходить в так называемое предельное состояние. Переход объекта в предельное состояние влечет за собой временное или окончательное прекращение эксплуатации объекта. При достижении предельного состояния объект должен быть снят с эксплуатации, направлен на средний или капитальный ремонт, списан или уничтожен. Если критерий предельного состояния установлен из соображений безопасности хранения и транспортирования объекта, то при наступлении предельного состояния хранение и транспортирование объекта должно быть прекращено. В других случаях при наступлении предельного состояния должно быть прекращено применение объекта по назначению.

В зависимости от условий эксплуатации для одного и того же объекта могут быть установлены два и более критериев предельного состояния.

Слайд 9

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

Отказом называют событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Критерием отказа называют признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, описанные в нормативно-технической и конструкторской документации.

Если работоспособность объекта характеризуют совокупностью течений некоторых технических параметров, то признаком возникновения отказа является выход значений любого из этих параметров за пределы допустимого. В критерии отказов могут входить качественные признаки, указывающие на нарушение нормальной работы объекта.

Критерии отказов следует отличать от критериев повреждений. Под критериями повреждений понимают признаки или совокупность признаков неисправного, но работоспособного состояния объекта.

Совокупность признаков, характеризующих последствия отказа называют критичностью отказа.

Понятие критичности отказа введено для того, чтобы проводить классификацию отказов по их последствиям. Критерием для классификации могут служить прямые и косвенные потери, вызванные отказами, затраты труда и времени на устранение последствий отказов и тому подобное. Классификация отказов по последствиям устанавливается по согласованию между заказчиком и разработчиком. Для простых объектов эта классификация не используется.

Классификация отказов по критичности устанавливается нормативно-технической и конструкторской документацией по согласованию с заказчиком на основании технико-экономических соображений и соображений безопасности. Согласно ГОСТу отказы бывают ресурсными, независимыми и зависимыми, внезапными и постепенными.

Слайд 10

В рассматриваемом стандарте отказы классифицируют по следующим основаниям: сбой, перемежающиеся отказы, явные и скрытые отказы, конструктивные, производственные, эксплуатационные и деградационные.

Сбой – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

Отличительным признаком сбоя является возможность восстановления работоспособного состояния объекта может без ремонта. Например, путем воздействия оператора на органы управления, устранением обрыва нити или магнитной ленты, коррекцией положения заготовки.

Характерным примером сбоя служит остановка ЭВМ, устраняемая повторным запуском программы с места остановки или ее перезапуском с начала.

Рассмотрим подробнее деградационные отказы. При анализе надежности различают ранние отказы, когда проявляется влияние дефектов, не обнаруженных в процессе изготовления, испытаний и приемочного контроля, и поздние, деградационные отказы. Последние происходят на заключительной стадии эксплуатации объекта. В этом случае вследствие естественных процессов старения, изнашивания объект или его составные части приближаются к предельному состоянию по условиям физического износа. Вероятность возникновения деградационных отказов в пределах планируемого полного или межремонтного срока службы должна быть достаточно мала. Это обеспечивается расчетом на долговечность эксплуатации с учетом физической природы деградационных отказов, а также надлежащей системой технического обслуживания и ремонта объекта.

Слайд 11

Согласно ГОСТу надежность технической системы характеризуется временными показателями. К ним относятся: наработка, наработка до отказа, время восстановления и так далее.

Наработка – продолжительность или объем работы объекта.

Наработка до отказа– наработка объекта от начала его эксплуатации или от момента его восстановления до отказа.

Время восстановления – время, затрачиваемое непосредственно на выполнение операций по восстановлению объекта.

Наработка может быть непрерывной величиной, например, выраженной продолжительностью работы в часах, километраже пробега. А также и целочисленной величиной, например, числом рабочих циклов, запусков.

Наработку объекта, эксплуатируемого непрерывно, можно измерять в единицах календарного времени. Если объект работает с перерывами, то различают непрерывную и суммарную наработку. В этом случае наработку также можно измерять в единицах времени. Для многих объектов физическое изнашивание связано не только с календарной продолжительностью эксплуатации,

но и с объемом работы объекта, и поэтому зависит от интенсивности применения объекта по назначению. Для таких объектов наработку обычно выражают через объем произведенной работы или число рабочих циклов.

В международных документах введена детальная классификация временных понятий, относящихся к наработке: требуемая наработка, продолжительность планового простоя, продолжительность планового простоя работоспособного объекта.

Понятия «наработка до отказа», «наработка между отказами», «время восстановления», «ресурс», «срок службы», «срок сохранности», «остаточный ресурс» относятся к конкретно взятому объекту. Имеется важное различие между величинами, определяемыми этими понятиями, и большинством величин, характеризующих механические, физические и другие свойства отдельного объекта. Например, геометрические размеры, масса, температура, скорость могут быть измерены непосредственно. Нарботка индивидуального объекта до первого отказа, его наработка между отказами, ресурс могут быть определены лишь после того, как наступил отказ или было достигнуто предельное состояние. Пока эти события не наступили, можно говорить лишь о прогнозировании этих величин с большей или меньшей степенью достоверности.

Цель установления назначенного срока службы и назначенного ресурса – обеспечить принудительное заблаговременное прекращение применения объекта по назначению, исходя из требований безопасности или технико-экономических соображений. Для объектов, подлежащих длительному хранению, может быть установлен назначенный срок, по истечении которого дальнейшее хранение недопустимо, например, исходя из требований безопасности.

При достижении объектом назначенного ресурса в зависимости от ряда факторов объект может быть списан, направлен в средний или капитальный ремонт или может быть принято решение о продолжении эксплуатации.

Надежность технических объектов характеризуется рядом показателей: единичный, комплексный, расчетный, экспериментальный, эксплуатационный и экстраполированный показатели надежности. К показателям надежности относят также количественные характеристики, которые вводят согласно правилам статистической теории надежности. Область применения этой теории ограничена крупносерийными объектами, которые изготавливают и эксплуатируют в статистически однородных условиях и к совокупности которых применимо статистическое истолкование вероятности. Примером служат массовые изделия машиностроения, электротехнической и радиоэлектронной промышленности.

Применение статистической теории надежности к уникальным и малосерийным объектам ограничено. Эта теория применима для единичных восстанавливаемых объектов, в которых допускаются многократные отказы, для описания последовательности которых применима модель потока случайных событий. Теорию применяют также к уникальным и малосерийным объектам, которые, в свою очередь, состоят из объектов массового производства. В этом случае расчет показателей надежности объекта в целом проводят методами статистической теории надежности по известным показателям надежности компонентов и элементов.

Методы статистической теории надежности позволяют установить требования к надежности компонентов и элементов на основании требований к надежности объекта в целом.

Статистическая теория надежности является составной частью более общего подхода к расчетной оценке надежности технических объектов. При этом отказы рассматривают как результат взаимодействия объекта как физической системы с другими объектами и окружающей средой. Так, при проектировании строительных сооружений и конструкций учитывают [в явной или неявной форме] статистический разброс механических свойств материалов, элементов и соединений. А также изменчивость параметров, характеризующих внешние нагрузки и воздействия. Большинство показателей надежности

полностью сохраняют смысл и при более общем подходе к расчетной оценке надежности.

Слайд 13

Безотказность эксплуатируемого объекта или процесса характеризуют рядом показателей:

- гамма-процентной наработкой до отказа;
- средней наработкой до отказа;
- наработкой между отказами и так далее.

Все показатели безотказности определены как вероятностные характеристики. Их статистические аналоги определяют методами математической статистики.

Вероятность безотказной работы определяется в предположении, что в начальный момент времени объект находился в работоспособном состоянии.

Для некоторых систем целесообразно указать отдельно требования к безотказности. Безотказность наиболее правильно описывается вероятностью безотказной работы. Однако можно определять безотказность за счет использования альтернативных величин, таких как средняя наработка до отказа или средняя наработка между отказами.

Примером, где средняя наработка до отказа является наилучшим показателем безотказности, служат электрические лампочки. Другим примером может быть производственный процесс, когда система работает постоянно, и наработка до отказа имеет важное значение для планирования работ по техническому обслуживанию.

Количественные требования к свойству безотказности должны быть уточнены до начала разработки системы. Для статистического подтверждения показателя безотказности должна быть указана достоверность, с которой требование должно быть продемонстрировано или установлено.

Слайд 14

В первую очередь следует рассматривать механизм отказов, которым подвергается система, так как это позволяет определять, какие из показателей безотказности уместны и целесообразны. Например, двигатели автомобилей отказывают, скорее, из-за израсходованного ресурса, а не из-за срока службы. Поэтому километраж пробега является соответствующей единицей измерения. Кроме того, они изнашиваются так, что предположение о постоянном параметре потока отказов является недопустимым. Бытовые электрические лампочки в большей степени отказывают относительно числа включений и выключений и в меньшей степени относительно количества часов горения. Это следует учитывать в определяемом эксплуатационном сроке службы. Наличие избыточных элементов является еще одним фактором, который влияет на выбор показателя безотказности.

Показатели долговечности по ГОСТ 27.002-2015 следующие.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до момента достижения предельного состояния.

Остаточный ресурс – суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до момента достижения предельного состояния.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния.

При использовании показателей долговечности следует указывать начало отсчета и вид действий после наступления предельного состояния. Например, гамма-процентный ресурс от второго капитального ремонта до списания. Показатели долговечности, отсчитываемые от ввода объекта в эксплуатацию до окончательного снятия с эксплуатации, называются гамма-процентный полный ресурс или средний полный ресурс, либо срок службы.

Слайд 15

Ремонтопригодность является важным показателем надежности для всех видов восстанавливаемых систем и отражает способность системы быть сохраненной в состоянии или восстановленной до состояния, в котором она может выполнять требуемую функцию. Кроме того, ремонтпригодность может иметь значительное влияние на достигнутую надежность особенно в системах, не содержащих избыточности.

Перечислим некоторые показатели ремонтпригодности по ГОСТ 27.002-2015.

Время восстановления – время, затрачиваемое непосредственно на выполнение операций по восстановлению объекта.

Время до восстановления – время от момента отказа до восстановления работоспособного состояния объекта.

Затраты времени и труда на проведение технического обслуживания и ремонтов с учетом конструктивных особенностей объекта, его технического состояния и условий эксплуатации характеризуются оперативными показателями ремонтпригодности.

Для комплексной оценки ремонтпригодности допустимо дополнительно использовать показатели типа удельной трудоемкости ремонта и удельной трудоемкости технического обслуживания.

Слайд 16

Сохранность характеризуется такими свойствами, как: гамма-процентный срок сохранности и средний срок сохранности.

Комплексные показатели надежности характеризуют несколько ее свойств одновременно, а именно: коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технического использования, коэффициент сохранения эффективности.

Коэффициент готовности характеризует готовность объекта к применению по назначению только в отношении его работоспособности в произвольный момент времени. Коэффициент оперативной готовности характеризует надежность объекта, необходимость применения которого возникает в произвольный момент времени. После этого предполагается безотказная работа в течение заданного интервала времени. Различают стационарный и нестационарный коэффициенты готовности, а также средний коэффициент готовности.

Коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения объекта в работоспособном состоянии относительно общей продолжительности эксплуатации. Коэффициент сохранения эффективности характеризует степень влияния отказов на эффективность его применения по назначению. Для каждого конкретного типа объектов содержание понятия эффективности и точный смысл показателя эффективности задаются техническим заданием. Они вводятся в нормативно-техническую, конструкторскую или проектную документацию.

Слайд 17

Тема «Состав и общие правила задания требований по надежности»

Государственным стандартом 27.003-2016 определены требования по надежности технических систем.

Согласно данному документу требования по надежности – это требования, установленные в НД к количественным значениям показателей. Эти показатели характеризуют такие свойства объекта, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, которые определяют надежность объекта в целом. Их выполнение обеспечивает эксплуатацию изделий с заданными показателями эффективности, безопасности, экологичности, живучести, а также другими составляющими качества, зависящими от надежности изделия. Предусматривается также возможность применения одного изделия в качестве составной части другого изделия с заданным уровнем надежности.

При задании требований по надежности их определяют или выбирают и согласовывают между заказчиком или потребителем и разработчиком или изготовителем для серийно выпускаемой продукции или объекта:

- типовую модель эксплуатации или несколько моделей, применительно к которым задают требования по надежности;
- критерии возможных отказов по каждой модели эксплуатации, применительно к которой задают требования по безотказности;
- закон распределения отказов;
 - критерии предельных состояний объекта, применительно к которым установлены требования по долговечности и сохраняемости и так далее, согласно требованиям ГОСТа.

Типовая модель эксплуатации объектов должна содержать:

- заданные режимы, этапы, виды использования объектов;
- уровни внешних воздействующих факторов и нагрузок для каждого режима, этапа, вида эксплуатации;
- характеристику принятой системы технического обслуживания и ремонта. Система включает схему обеспечения запасными частями, инструментом и расходными материалами, укомплектованность ремонтной оснасткой и оборудованием, обслуживающим и проводящим ремонт персоналом требуемой квалификации.

Слайд 18

Номенклатуру задаваемых показателей надежности изделия, далее в тексте – ПН, выбирают в соответствии с положениями данного стандарта. Затем согласовывают в установленном порядке между заказчиком и разработчиком. Показатели, как правило, должны выбираться из числа вышеуказанных.

Количество задаваемых ПН – номенклатура ПН – для объекта должно быть оптимальным. С точки зрения затрат на проверку, подтверждение и оценку заданных ПН при изготовлении и в эксплуатации их число должно

быть минимальным. В то же время число заданных ПН должно максимально характеризовать надежность объекта на всех этапах его производства и эксплуатации. В целях оптимизации количества задаваемых ПН, особенно для сложных восстанавливаемых объектов, используют комплексные показатели надежности.

Для изделий, подлежащих перед началом или в процессе эксплуатации хранению или транспортированию, задают также показатели сохранности. При этом должны быть определены и учтены условия и режимы, применительно к которым задают указанные показатели.

Для восстанавливаемых изделий, как правило, задают комплексный показатель надежности либо определяющий его набор единичных показателей безотказности и ремонтпригодности. Причем первый вариант задания требований является наиболее предпочтительным. По требованию заказчика в дополнение к комплексному показателю может быть задан один из определяющих его показателей безотказности или ремонтпригодности. Не допускается одновременное задание комплексного и всех определяющих его единичных показателей. Для показателей ремонтпригодности должны быть определены и учтены условия и виды восстановления, ремонта и технического обслуживания, применительно к которым задают указанные показатели.

При статистическом методе контроля анализируются исходные данные для выбора плана контроля соответствия объектов заданным требованиям по надежности. Применительно к каждому ПН могут устанавливать следующие исходные данные: приемочный R_α [эр альфа] и браковочный R_β [эр бэта] уровни, риски заказчика (потребителя) β [бэта] и поставщика (изготовителя) α [альфа] или доверительную вероятность γ [гамма] и значение отношения верхней R_v [эр вэ] и нижней R_n [эр эн] доверительных границ.

Слайд 19

Требования к конструктивным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования и ограничения по видам и кратности резервирования;
- требования и ограничения по затратам в изготовлении и эксплуатации, массе, габаритам, объему объекта и его отдельных составных частей, оборудования для технического обслуживания и ремонтов;
- другие требования.

Требования к технологическим способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования к точностным параметрам технологического оборудования и его аттестации;
- требования к стабильности технологических процессов, свойствам сырья, материалов, комплектующим;
- требования к необходимости, длительности и режимам технологического прогона, обкатки, электро-, термотренировки и тому подобных объектов в процессе изготовления;
- требования к способам и средствам контроля уровня надежности и дефектности в ходе производства и другое;
- требования к объему и форме представления информации о надежности, собираемой или регистрируемой в ходе производства.

Требования к эксплуатационным способам обеспечения надежности могут содержать:

- требования к системе технического обслуживания и ремонтов;
- требования к алгоритму технического диагностирования и контроля технического состояния;
- требования к численности, квалификации, длительности обучения и подготовки обслуживающего и ремонтного персонала;
- требования к способам устранения отказов и повреждений, порядку использования ЗИП, правилам регулировок и тому подобное;
- требования к объему и форме представления информации о надежности, собираемой или регистрируемой в ходе эксплуатации, и другое.

Слайд 20

Требования по надежности включают:

- в тактико-технические задания, технические задания на разработку или модернизацию изделий;
- в технические условия на изготовление опытной и серийной продукции;
- в стандарты общих технических требований, общих технических условий и технических условий;
- в эксплуатационную документацию (ЭД).

В паспортах, формулярах, инструкциях и другой эксплуатационной документации требования по надежности указывают по согласованию между заказчиком и разработчиком в качестве справочных. Требования по надежности могут включаться в договоры на разработку и поставку изделий.

Рассмотрим порядок задания требований по надежности на различных стадиях жизненного цикла изделий.

Требования по надежности, включаемые в технические задания, первоначально определяют на стадии исследования и обоснования разработки. Для этого предусмотрено выполнение следующих работ:

- анализа требований заказчика или потребителя, назначения и условий эксплуатации объекта или его аналогов, ограничений по всем видам затрат, в том числе по конструктивному исполнению, технологии изготовления и стоимости эксплуатации;
- определения и согласования с заказчиком или потребителем перечня и основных признаков возможных отказов и предельных состояний;
- выбора рациональной номенклатуры задаваемых ПН;
- установления значений или норм ПН объекта и его составных частей.

В технические условия на серийные изделия включают те показатели надежности, которые предполагается контролировать на этапе изготовления

продукции.

На стадиях серийного производства и эксплуатации допускается коррекция значения отдельных показателей надежности по результатам испытаний или подконтрольной эксплуатации.

Слайд 21

Для сложных изделий при их отработке, опытном и серийном производстве допускается поэтапное задание значений показателей надежности при условии повышения требований к ней и параметрам контроля.

Выбор номенклатуры ПН осуществляют на основе классификации объектов по признакам, характеризующим их назначение, последствия отказов и достижения предельного состояния, особенности режимов применения и др.

Определение классификационных признаков изделий осуществляют путем инженерного анализа и согласования его результатов между заказчиком и разработчиком. Основным источником информации для такого анализа являются технические задания на разработку изделия в соответствии с характеристиками его назначения, условиями эксплуатации, а также с данными о надежности изделий-аналогов.

Основными признаками, по которым подразделяют объекты при задании требований по надежности, являются;

- определенность назначения объекта;
- число возможных или учитываемых состояний объектов по работоспособности в процессе эксплуатации;
- режим применения и функционирования;
- возможные последствия отказов и достижения предельного состояния при применении и последствия отказов при хранении и транспортировании;

Кроме того, к признакам, по которым классифицируют изделия, относят:

- характер основных процессов, определяющих переход изделия в пре-

дельное состояние;

- возможность и способ восстановления технического ресурса;
- возможность и необходимость технического обслуживания;
- возможность и необходимость контроля перед применением;
- наличие в составе изделий средств вычислительной техники.

Слайд 22

По определенности назначения изделия подразделяют:

- на изделия конкретного назначения, имеющие один основной вариант применения по назначению;
- на изделия общего назначения, имеющие несколько вариантов применения.

По числу возможных состояний работоспособности изделия подразделяют на:

- изделия вида I, которые в процессе эксплуатации могут находиться в двух состояниях – работоспособном или неработоспособном;
- изделия вида II, которые кроме указанных двух состояний могут находиться в частично неработоспособных состояниях, в которые они переходят в результате частичного отказа.

Для упрощения процедуры задания и последующего контроля допускается изделия вида II приводить к изделиям вида I. Это осуществляется условным разделением множества частично неработоспособных состояний на два подмножества состояний. Одно из состояний относят к работоспособному, а другое – к неработоспособному состоянию. Для подразделения множества состояний на два подмножества рекомендуется общее правило. Если в частично неработоспособном состоянии целесообразно продолжать применять изделия по назначению, то это состояние относят к работоспособному. В противном случае – к неработоспособному.

Допускается также разукрупнение изделия вида II на составные части

вида I и установление требований по надежности к изделию в целом в виде набора показателей надежности его составных частей.

Для изделий, имеющих каналный принцип построения, требования по безотказности и ремонтпригодности допустимо задавать в расчете на один канал. Либо на каждый канал при неравноценных по эффективности каналах.

Слайд 23

По режимам применения изделия подразделяют:

- на изделия непрерывного длительного применения;
- на изделия многократного циклического применения;
- на изделия однократного применения с предшествующим периодом ожидания применения и хранения.

По последствиям отказов или достижения предельного состояния при применении или последствиям отказов при хранении и транспортировании изделия подразделяют:

- на изделия, отказы или переход которых в предельное состояние приводит к последствиям катастрофического характера;
- на изделия, отказы или переход которых в предельное состояние не приводит к последствиям катастрофического характера.

По возможности восстановления работоспособного состояния изделия после отказа в процессе эксплуатации подразделяют:

- на восстанавливаемые;
- на невосстанавливаемые.

По характеру основных процессов, определяющих переход в предельное состояние, изделия подразделяют:

- на стареющие;
- на изнашиваемые;
- на стареющие и изнашиваемые одновременно.

По возможности и способу восстановления технического ресурса путем

проведения плановых ремонтов изделия подразделяют:

- на неремонтируемые;
- на ремонтируемые обезличенным способом;
- на ремонтируемые необезличенным способом.

По возможности технического обслуживания в процессе эксплуатации изделия подразделяют:

- на обслуживаемые;
- на необслуживаемые.

Слайд 24

По возможности проведения контроля перед применением изделия подразделяют:

- на контролируемые перед применением;
- на не контролируемые перед применением.

При наличии в составе изделий электронно-вычислительных машин и других устройств вычислительной техники их относят к изделиям с отказами сбойного характера. При отсутствии таковых – к изделиям без отказов сбойного характера.

Обобщенная схема выбора номенклатуры показателей надежности приведена в ГОСТе.

Значения показателей надежности изделий устанавливают в технических заданиях или технических условиях. При этом учитывают назначение изделий, достигнутый уровень и выявленные тенденции повышения их надежности и другие данные с учетом требований ГОСТа.

При применении планов контроля изделий с заданными приемочным R_α [эр' альфа] и браковочным R_β [эр' бета] уровнями проектирование на стадии разработки осуществляют следующим образом. На стадии производства должен обеспечиваться фактический уровень показателей надежности, соответствующий уровню R_α [эр' альфа]. Значение уровня R_β [эр' альфа] представляет на стадии разработки расчетную норму показателя надежности.

Расчетные значения показателей надежности изделия и его составных частей, полученные после завершения очередного этапа работ, принимают в качестве норм надежности. Эти нормы действуют на последующем этапе, после завершения которого эти нормы уточняют.

Для обоснования значений показателей надежности используют расчетные, экспериментальные или расчетно-экспериментальные методы.

Расчетные методы используют для изделий, по которым отсутствуют статистические данные, полученные в ходе испытаний аналогов.

Слайд 25

Экспериментальные методы применяют для изделий, по которым в процессе испытаний возможно получение статистических данных, либо возможна оценка их показателей. В том числе и тенденций изменения показателей надежности при сравнении аналогов друг с другом. Полученные оценки показателей надежности используют вместо расчетных значений показателей изделия и его составных частей.

Расчетно-экспериментальные методы представляют комбинацию расчетных и экспериментальных методов. Их применяют в тех случаях, когда по отдельным составным частям изделия имеются статистические данные о надежности, а по другим – результаты расчетов. Или в том случае, когда предварительные результаты испытаний изделий, полученные в ходе разработки, позволяют уточнить расчетные значения показателей надежности.

Для поэтапного задания требований по надежности применяют расчетно-экспериментальные методы, основанные на моделях роста надежности в процессе отработки изделий и освоения их в производстве. Модели роста определяют по статистическим данным, полученным при создании и эксплуатации изделий-аналогов.

Категории отказов и предельных состояний устанавливают с целью однозначного понимания технического состояния изделий при задании требований по надежности, испытаниях и эксплуатации.

Определения критериев отказов и предельных состояний должны быть четкими, конкретными, не допускающими неоднозначного толкования. Критерии предельных состояний должны содержать указания на обнаруженные следствия.

Критерии отказов и предельных состояний должны обеспечивать простоту обнаружения факта отказа или перехода в предельное состояние визуальным путем или с помощью предусмотренных средств технического диагностирования.

Слайд 26

Критерии отказов и предельных состояний должны устанавливаться в той же документации, в которой приведены значения показателей надежности.

Типичными критериями отказов могут быть:

- прекращение выполнения изделием заданных функций; выход показателей функционирования за пределы допустимого уровня;
- искажения информации или неправильные решения на выходе объектов, имеющих в своем составе устройства дискретной техники, из-за отказов сбойного характера;
- внешние проявления, свидетельствующие о наступлении или предпосылках наступления неработоспособного состояния.

Типичными критериями предельных состояний изделий могут быть:

- отказ одной или нескольких составных частей, восстановление или замена которых на месте эксплуатации не предусмотрены эксплуатационной документацией;
- механический износ ответственных деталей и узлов или снижение физических, химических, электрических свойств материалов до предельно допустимого уровня;
- снижение наработки на отказ и повышение интенсивности отказов объектов ниже или выше допустимого уровня;

- превышение установленного уровня текущих или суммарных затрат на техническое обслуживание и ремонты или другие признаки, определяющие экономическую нецелесообразность дальнейшей эксплуатации.

Правила расчета надежности технических объектов, требования к методикам и порядок представления результатов расчета устанавливаются государственным стандартом «Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения».

Слайд 27

Тема «Расчет надежности»

Рассмотрим основные понятия, связанные с процедурой определения значений показателей надежности объекта, иными словами, с расчетом надежности. Расчет производится с использованием методов, основанных на вычислении по справочным данным надежности элементов объекта, надежности объектов-аналогов. Также он производится с использованием вычислений надежности по данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета.

ГОСТ 27.301-95 определяет порядок расчета надежности.

Прогнозирование надежности – частный случай расчета надежности объекта на основе статистических моделей, отражающих тенденции изменения надежности объектов-аналогов и экспертных оценок.

Элемент – это составная часть объекта, рассматриваемая при расчете надежности как единое целое, не подлежащее дальнейшему разукрупнению.

Надежность объекта рассчитывают на стадиях жизненного цикла и соответствующих этим стадиям этапах видов работ, установленных программой обеспечения надежности объекта или документами, ее заменяющими.

Программа обеспечения надежности должна устанавливать:

- цели расчета на каждом этапе видов работ;
- применяемые при расчете нормативные документы и методики;
- сроки выполнения расчета и исполнителей;

- порядок оформления документации, представления и контроля за результатами расчета;

Расчет надежности объекта на определенном этапе видов работ, соответствующем некоторой стадии его жизненного цикла, может иметь своими целями:

- обоснование количественных требований по надежности к объекту или его составным частям;
- проверку выполнимости установленных требований и оценку вероятности достижения требуемого уровня надежности объекта;
- сравнительный анализ надежности вариантов схемно-конструктивного построения объекта и обоснование выбора рационального варианта;
- определение достигнутого уровня надежности объекта и его составных частей;
- обоснование и проверку эффективности предлагаемых мер по доработкам конструкции, технологии изготовления, системы технического обслуживания и ремонта объекта, направленных на повышение его надежности.

Слайд 28

Целями расчета надежности могут являться:

- решение различных оптимизационных задач, в которых показатели надежности выступают в роли целевых функций, управляемых параметров или граничных условий;
- проверка соответствия ожидаемого уровня надежности объекта установленным требованиям, если прямое экспериментальное подтверждение их уровня надежности невозможно технически или нецелесообразно экономически.

Расчет надежности объектов в общем случае представляет собой процедуру последовательного поэтапного уточнения оценок показателей надежности.

Расчет надежности на любом этапе видов работ, предусмотренном планом программы обеспечения надежности, включает:

- идентификацию объекта, подлежащего расчету;
- определение целей и задач расчета на данном этапе, номенклатуры и требуемых значений рассчитываемых показателей надежности;
- выбор методов расчета, адекватных особенностям объекта, целям расчета, наличию необходимой информации об объекте и исходных данных для расчета;
- составление расчетных моделей для каждого показателя надежности;
- получение и предварительную обработку исходных данных для расчета, вычисление значений показателей надежности объекта и при необходимости их сопоставление с требуемыми;
- оформление, представление и защиту результатов расчета.

Слайд 29

Рассмотрим подробнее этап идентификации.

Идентификация объекта для расчета его надежности включает получение и анализ следующей информации об объекте, условиях его эксплуатации и таких факторах, как:

- назначение, области применения и функции объекта;
- критерии качества функционирования, отказов и предельных состояний, возможные последствия отказов объекта;
- структура объекта, состав, взаимодействие и уровни нагруженности входящих в него элементов, возможность перестройки структуры и алгоритмов функционирования объекта при отказах отдельных его элементов;
- наличие, виды и способы резервирования, используемые в объекте;
- типовая модель эксплуатации объекта, устанавливающая перечень возможных режимов эксплуатации и выполняемых при этом функций. А также правила и частоту чередования режимов, продолжительность пребывания обь-

екта в каждом режиме. Соответствующие наработки, номенклатуру и параметры нагрузок и внешних воздействий на объект в каждом режиме.

Согласно требованиям рассматриваемого стандарта необходимо также провести анализ следующих данных объекта:

- планируемая система технического обслуживания и ремонта объекта;
- распределение функций между операторами и средствами автоматического диагностирования и управления объектом. Виды и характеристики человеко-машинных интерфейсов, определяющих параметры работоспособности и надежности работы операторов;
- уровень квалификации персонала;
- качество программных средств, применяемых в объекте;
- планируемые технология и организация производства при изготовлении объекта.

Полнота идентификации объекта на рассматриваемом этапе расчета его надежности определяет выбор соответствующего метода расчета.

Источниками информации для идентификации объекта служат различные виды документации на объект.

Слайд 30

Методы расчета надежности классифицируют по составу рассчитываемых показателей надежности и по основным принципам расчета.

По составу рассчитываемых показателей различают методы расчета:

- безотказности;
- ремонтпригодности;
- долговечности;
- сохраняемости;
- комплексных показателей надежности: методы расчета коэффициентов готовности, технического использования, сохранения эффективности и другие.

По основным принципам расчета свойств, составляющих надежность, или комплексных показателей надежности объектов различают:

- методы прогнозирования;
- структурные методы расчета;
- физические методы расчета.

Методы прогнозирования основаны на использовании для оценки ожидаемого уровня надежности объекта данных о достигнутых значениях и выявленных тенденциях изменения показателей объектов-аналогов. Под объектами-аналогами понимаются объекты аналогичные или близкие к рассматриваемому по назначению, принципам действия, схемно-конструктивному построению и технологии изготовления. А также по базе элементов и применяемым материалам, условиям и режимам эксплуатации, принципам и методам управления надежностью.

Структурные методы расчета основаны на представлении объекта в виде логической схемы, описывающей зависимость состояний и переходов объекта от состояний и смены его элементов с учетом их взаимодействия и выполняемых ими функций в объекте. А также с последующими описаниями построенной структурной модели адекватной математической модели и вычислением показателей объекта по известным характеристикам надежности его элементов.

Слайд 31

Физические методы расчета основаны на применении математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам объектов. А также на вычислении показателей по известным параметрам нагруженности объекта, характеристикам примененных в объекте веществ и материалов с учетом особенностей его конструкции и технологии изготовления.

Метод расчета надежности конкретного объекта выбирают в зависимости:

- от целей расчета и требований к точности определения показателей надежности объекта;
- от наличия и возможности получения исходной информации, необходимой для применения определенного метода расчета;
- от уровня отработанности конструкции и технологии изготовления объекта;
- от системы его техобслуживания и ремонта, позволяющего применять соответствующие расчетные модели надежности.

При расчете надежности конкретных объектов возможно одновременное применение различных методов.

Исходными данными для расчета надежности объекта могут быть:

- априорные данные о надежности объектов-аналогов, составных частей и комплектующих изделий рассматриваемого объекта по опыту их применения в аналогичных или близких к эксплуатационным условиям;
- оценки показателей надежности составных частей объекта и параметров, используемых в объекте материалов, полученных экспериментальным путем или расчетным способом непосредственно в процессе разработки объекта и его составных частей;
- расчетные и экспериментальные оценки параметров нагруженности примененных в объекте составных частей и элементов конструкции.

Слайд 32

Источниками исходных данных для расчета надежности объекта могут быть:

- стандарты и технические условия на составные части объекта, применяемые в нем комплектующие элементы межотраслевого применения, вещества и материалы;
- справочники по надежности элементов, свойствам веществ и материалов, нормативам продолжительности типовых операций техобслуживания и

ремонта и другие информационные материалы;

- статистические данные о надежности объектов-аналогов, входящих в их состав элементов, свойствах применяемых в них веществ и материалов;
- результаты прочностных, электрических, тепловых и иных расчетов объекта и его составных частей, включая расчеты показателей надежности составных частей объекта.

При наличии нескольких источников исходных данных приоритеты в их использовании или методы объединения данных из разных источников должны быть установлены в методике расчета. В расчете надежности предпочтение должно отдаваться исходным данным из стандартов и технических условий на составные части, элементы и материалы.

Адекватность выбранного метода расчета и построенных расчетных моделей целям и задачам расчета надежности объекта характеризуют:

- полнота использования в расчете всей доступной информации об объекте, условиях его эксплуатации, системе техобслуживания и ремонта, характеристиках надежности составных частей и так далее;
- обоснованность принятых при построении моделей допущений и предположений, их влияние на точность и достоверность оценок показателей надежности;
- степень соответствия уровня сложности и точности расчетных моделей надежности объекта точности исходных данных для расчета.

Слайд 33

Степень адекватности моделей и методов расчета надежности оценивают путем:

- сопоставления результатов расчета и экспериментальной оценки показателей надежности объектов-аналогов, для которых применялись аналогичные модели и методы расчета;
- исследования чувствительности моделей к возможным нарушениям,

принятым при их построении, допущениям и предположениям, а также к погрешностям исходных данных для расчета;

- экспертизы и апробации применяемых моделей и методов, проводимых в установленном порядке.

Для расчета надежности объектов применяют:

- типовые методики расчета, разрабатываемые для группы однородных по назначению и принципам обеспечения надежности объектов, оформляемые в виде соответствующих нормативных документов;
- методики расчета, разрабатываемые для конкретных объектов, особенности конструкции и условия применения которых не допускают применения типовых методик расчета надежности.

Указанные методики, как правило, включают непосредственно в отчетные документы по расчету надежности. Либо оформляют в виде отдельных документов, включаемых в комплект документации соответствующего этапа разработки объекта.

Типовая методика расчета надежности должна содержать:

- характеристику объекта, на который распространяется методика в соответствии с установленными настоящим стандартом правилами его идентификации;
- перечень рассчитываемых показателей надежности объекта в целом и его составных частей, методы, применяемые для расчета каждого показателя;
- типовые модели для расчета показателей надежности и правила их адаптации для расчета надежности конкретных объектов, соответствующие этим моделям алгоритмы расчета и при условии наличия программных средств.

Слайд 34

Типовая методика, согласно стандарту, также включает:

- методы и соответствующие методики оценки параметров нагруженности составных частей объектов, учитываемых в расчетах надежности;

- требования к исходным данным для расчета надежности или непосредственно сами исходные данные: методы объединения разнородных исходных данных для расчета надежности, получаемые из разных источников;
- решающие правила для сопоставления расчетных значений показателей надежности с требуемыми, если результаты расчета применяют для контроля надежности объектов;
- методы оценки погрешностей расчета показателей надежности, вносимые принятыми для используемых моделей и методов расчета допущениями и предположениями;
- методы оценки чувствительности результатов расчета к нарушениям принятых допущений и к потребностям исходных данных;
- требования к форме представления результатов расчета показателей надежности и правила защиты результатов расчета.

Методика расчета надежности конкретного объекта должна содержать:

- информацию об объекте, обеспечивающую его идентификацию для расчета надежности в соответствии с требованиями настоящего стандарта;
- номенклатуру рассчитываемых показателей надежности и их требуемые значения;
- модели для расчета каждого из показателей надежности, принятые при их построении допущения и предположения, соответствующие алгоритмы вычисления показателей надежности и применяемые программные средства;
- исходные данные для расчета и источники их получения;
- методики оценки параметров нагруженности объекта или непосредственно оценки указанных параметров со ссылками на соответствующие результаты и методики прочностных, тепловых, электрических и иных расчетов объекта.

Слайд 35

Результаты расчета надежности объекта оформляют в виде пояснитель-

ной записки к соответствующему проекту или в виде самостоятельного документа в соответствии с ГОСТом, содержащего:

- цели и методику расчета;
- расчетные значения всех показателей надежности и заключения об их соответствии установленным требованиям надежности объекта;
- выявленные недостатки конструкции объекта и рекомендации по их устранению с оценками эффективности предлагаемых мер с точки зрения их влияния на уровень надежности;
- перечень составных частей и элементов, лимитирующих надежность объекта или по которым отсутствуют необходимые данные для расчета;
- предложения по включению дополнительных мероприятий по повышению надежности;
- заключение о возможности перехода к следующему этапу отработки объекта при достигнутом расчетном уровне его надежности.

Содержание отчетного документа по расчету надежности должно допускать возможность независимой проверки при экспертизе проекта.

Методы прогнозирования надежности применяют:

- для обоснования требуемого уровня надежности объектов при разработке технических заданий и оценки вероятности достижения заданных показателей при проработке технических предложений и анализе требований технического задания;
- для ориентировочной оценки ожидаемого уровня надежности объектов на ранних стадиях их проектирования в том случае, если отсутствует необходимая информация для применения иных методов расчета надежности;
- для расчета интенсивности отказов серийно выпускаемых и новых электронных и электротехнических элементов различных типов;
- для расчета параметров типовых задач и операций технического обслуживания, для ремонта объектов с учетом их конструктивных характеристик, определяющих ремонтпригодность.

Слайд 36

Для прогнозирования надежности объектов применяют:

- методы эвристического прогнозирования или экспертной оценки;
- методы прогнозирования по статистическим моделям;
- комбинированные методы.

Методы эвристического прогнозирования основаны на статистической обработке независимых оценок значений ожидаемых показателей надежности разрабатываемого объекта. Оценки даются группой квалифицированных специалистов на основе предоставленной им информации об объекте, условиях его эксплуатации, планируемой технологии изготовления и других данных. Опрос экспертов и статистическую обработку индивидуальных прогнозов показателей проводят общепринятыми при экспертной оценке методами.

Методы прогнозирования по статистическим моделям основаны на экстра- или интерполяции зависимостей, описывающих выявленные тенденции изменения показателей надежности объектов-аналогов. При этом учитываются их конструктивно-технологические особенности и другие факторы, информация о которых для разрабатываемого объекта известна или может быть получена в момент проведения оценки. Модели для прогнозирования строят по показателям надежности и параметрам объектов-аналогов с использованием известных статистических методов. Например, с применением многофакторного регрессионного или факторного анализа, а также методов статистической классификации и распознавания образов.

Комбинированные методы основаны на совместном применении методов прогнозирования по статистическим моделям и эвристических методов с последующим сравнением результатов. При этом эвристические методы используют для оценки возможности экстраполяции используемых статистических моделей и уточнения прогноза по ним показателей надежности. Применение же комбинированных методов целесообразно в тех случаях, когда есть основания ожидать качественных изменений уровня надежности объектов, не отражаемых соответствующими статистическими моделями. Также может

быть недостаточно данных по объектам-аналогам, полученных статистическими методами.

Слайд 37

Структурные методы являются основными методами расчета в процессе проектирования объектов, поддающихся разукрупнению. Характеристики надежности составляющих их элементов в момент проведения расчетов известны или могут быть определены другими методами. Эти методы применяются также для расчета долговечности и сохраняемости объектов, критерии предельного состояния которых определяются параметрами долговечности их элементов.

Расчет показателей надежности структурными методами в общем случае включает:

- представление объекта в виде структурной схемы, описывающей логические соотношения между состояниями элементов и объекта в целом с учетом структурно-функциональных связей и взаимодействия элементов;
- описание построенной структурной схемы надежности объекта адекватной математической моделью, позволяющей вычислить показатели надежности объекта по данным о надежности его элементов.

В качестве структурных схем надежности могут применяться:

- структурные блок-схемы, представляющие объект в виде совокупности определенным образом соединенных элементов;
- «деревья отказов» объекта, представляющие графическое отображение причинно-следственных связей, обуславливающих определенные виды его отказов;
- графы состояний и переходов, описывающие возможные состояния объекта и его переходы из одного состояния в другое в виде совокупности состояний и переходов его элементов.

Слайд 38

Математические модели, применяемые для описания надежности, определяются видами и сложностью структур, принятыми допущениями, точностью и достоверностью исходных данных для расчета и другими факторами.

Рассмотрим наиболее употребительные математические методы расчета показателей надежности, что не исключает возможности разработки и применения других методов, более адекватных структуре и другим особенностям объекта.

Методы расчета безотказности невосстанавливаемых объектов вида I.

Как правило, для описания безотказности таких объектов применяют блок-схемы безотказности. Правила их составления и математического описания установлены Стандартом международной энергетической комиссии 1078 – 91 «Метод анализа надежности. Метод расчета безотказности с использованием блок-схем».

В частности, указанным стандартом установлены:

- методы прямого расчета вероятности безотказной работы объекта по соответствующим параметрам безотказности элементов для простейших параллельно-последовательных структур;
- методы расчета вероятности безотказной работы для более сложных структур, относящихся к классу монотонных: метод прямого перебора состояний, метод минимальных путей и сечений, метод разложения относительно любого элемента.

Для расчета показателей типа средней наработки объекта до отказа в указанных методах используют метод прямого или численного интегрирования распределения наработки до отказа объекта. Он представляет собой композицию соответствующих распределений наработок до отказа элементов. Если информация о распределении наработок до отказа элементов недостаточно полная или достоверная, то применяют различные граничные оценки показателей надежности объекта, известные из теории надежности.

Слайд 39

В частном случае невозстанавливаемой системы с различными способами резервирования и при экспоненциальном распределении наработок до отказа элементов применяют ее структурное отображение в виде графа переходов.

При использовании для структурного описания безотказности «деревьев отказов» вероятности соответствующих отказов рассчитывают с использованием булева представления «дерева отказов» и метода минимальных сечений.

Рассмотрим методы расчета безотказности и комплексных показателей надежности восстанавливаемых объектов вида I.

Универсальным методом расчета для объектов любой структуры служит метод статистического моделирования, включающий:

- синтез формальной модели формирования последовательности случайных событий, происходящих в процессе работы объекта;
- разработку программного обеспечения;
- проведение имитационного эксперимента путем многократной реализации формальной модели, обеспечивающей требуемую точность и достоверность расчета показателей надежности.

Метод статистического моделирования для расчета надежности применяют при отсутствии адекватных аналитических моделей из числа рассматриваемых далее.

Для резервированных последовательных структур с восстановлением и произвольными способами резервирования элементов применяют марковские модели для описания соответствующих графов состояний.

Другой эффективный метод расчета показателей надежности объектов с резервом основан на представлении их наработок между отказами в виде суммы случайного числа случайных слагаемых. Также он основан на непосредственном вычислении показателей надежности объектов без привлечения методов теории случайных процессов.

Слайд 40

Методы расчета показателей ремонтпригодности.

Методы расчета показателей ремонтпригодности в общем случае основаны на представлении процесса техобслуживания или ремонта определенного вида как совокупности отдельных задач. Вероятности и цели их выполнения определяются показателями безотказности объектов и принятой стратегией техобслуживания и ремонта. Продолжительность выполнения каждой задачи зависит от конструктивной приспособленности объекта к ремонту данного вида.

Общая схема расчета включает:

- составление перечня возможных отказов объекта и оценку их вероятностей;
- отбор из составленного перечня методом расслоений случайной выборки некоторого достаточно представительного числа задач и расчет параметров распределений их продолжительности. В качестве таких распределений обычно используют усеченное нормальное или альфа-распределение;
- построение эмпирического распределения затрат на текущий ремонт объекта путем сложения с учетом вероятностей отказов распределений затрат на отдельные задачи и его сглаживание;
- вычисление показателей ремонтпригодности объекта по параметрам выбранного закона распределения.

Рассмотрим методы расчета показателей надежности объектов вида II.

Для объектов данного вида применяют показатели типа «коэффициент сохранения эффективности», при расчете которого сохраняются общие принципы расчета надежности объектов вида I. Каждому состоянию объекта, определяемому совокупностью состояний его элементов, должно быть присвоено определенное значение доли сохраняемой номинальной эффективности от 0 до 1.

Слайд 41

Существует два основных метода расчета коэффициента сохранения эффективности:

- метод усреднения по состояниям, применяемый для объектов кратковременного действия. То есть продолжительность выполняемых задач такова, что вероятностью изменения состояния объекта в процессе выполнения задачи можно пренебречь и учитывать только его начальное состояние;
- метод усреднения по траекториям, применяемый для объектов длительного действия. Продолжительность выполнения задач такова, что нельзя пренебречь вероятностью смены состояний объекта при их выполнении за счет отказов и восстановлений элементов. При этом процесс функционирования объекта описывается реализацией одной из возможных траекторий в пространстве состояний.

Наиболее принципиальным моментом в расчетах данного коэффициента является оценка эффективностей системы в различных состояниях или при реализации различных траекторий в пространстве состояний. Оценка проводится либо аналитически, либо методом моделирования, либо экспериментальным путем непосредственно на самом объекте или его натуральных моделях.

Рассмотрим физические методы расчета надежности. Физические методы применяют для объектов, у которых известны механизмы их деградации под влиянием различных внешних и внутренних факторов, приводящих к отказам в процессе эксплуатации.

Методы основаны на описании соответствующих процессов деградации с помощью адекватных математических моделей. Данные модели позволяют вычислять показатели надежности с учетом конструкции, технологии изготовления, режимов и условий работы объекта. Расчет проводится по справочным или экспериментально определенным физическим и иным свойствам веществ и материалов, используемых в объекте.

В общем случае указанные модели при одном ведущем процессе деградации могут быть представлены моделью выбросов некоторого случайного

процесса за пределы границ допустимой области его существования. Причем границы этой области могут быть также случайными и коррелированными с указанным процессом.

Возможны несколько независимых процессов деградации, каждый из которых порождает свое распределение ресурса. При этом итоговое распределение ресурса находят с использованием модели «слабейшего звена», то есть по распределению минимума независимых случайных величин.

Слайд 42

Тема «Анализ видов, последствий и критичности отказов. Общие положения, методика проведения»

Порядок проведения и методика анализа видов, последствий и критичности отказов технических объектов всех видов устанавливается стандартом ГОСТ 27.310-95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.

Стандарт применяют при разработке и производстве технических объектов, для которых соответствующими документами признано необходимым проведение анализа видов, последствий и критичности отказов.

Стандартом вводятся следующие понятия:

- элемент,
- система,
- вид отказа,
- тяжесть последствий отказа,
- категория тяжести последствий отказов.

В данном стандарте также приведены такие понятия, как «критический отказ», «критичный элемент» и «критичный технологический процесс».

Согласно ГОСТу, критическим отказом системы является такой отказ, тяжесть последствий которого в пределах данного анализа признана недопустимой. При этом требуется принятие специальных мер по снижению вероят-

ности данного отказа и возможного ущерба, связанного с его возникновением.

Критичными являются те элементы системы, возможный отказ которых может быть критическим.

Слайд 43

В процессе анализа видов, последствий и критичности отказов конкретного изделия могут быть установлены иные признаки для отнесения элементов к категории критичных. Например, критичным может быть элемент, отказ которого безусловно ведет к полному отказу системы независимо от тяжести его последствий.

Критичный технологический процесс представляет собой процесс, в ходе которого обнаружение дефектов параметров может стать причиной критического отказа.

При анализе видов, последствий и критичности отказов конкретного изделия могут быть установлены иные признаки критичности технологического процесса. Например, критичным может быть признан техпроцесс, влияние которого на надежность системы или ее элементов неизвестно или недостаточно изучено.

Показатель критичности отказа является количественной величиной. Он характеризует критичность отказа и учитывает степень его вероятности за время эксплуатации, а также тяжесть возможных последствий.

Рассмотрим процедуру анализа видов и последствий отказов подробнее. Она подразумевает качественный анализ проекта, технологии изготовления, правил эксплуатации и хранения, системы технического обслуживания и ремонта изделия.

Слайд 44

Процедура анализа видов и последствий отказов заключается:

- в выделении на некотором уровне разукрупнения его структуры возможных отказов разного вида;

- в прослеживании причинно-следственных связей, обуславливающих их возникновение, и возможных последствий этих отказов на данном и вышестоящих уровнях;
- в качественной оценке и ранжировании отказов по тяжести их последствий.

Анализ видов, последствий и критичности отказов представляет собой процедуру анализа видов и последствий отказов, дополненную оценками показателей критичности анализируемых отказов.

Технический объект – любое изделие: элемент, устройство, подсистема, функциональная единица или система, которые можно рассматривать в отдельности.

Объект может состоять из технических средств, программных средств или их сочетания и может в частных случаях включать людей, его эксплуатирующих, обслуживающих и ремонтирующих.

Анализ видов, последствий и критичности отказов проводят с целью обоснования, проверки достаточности, оценки эффективности и контроля за реализацией управляющих решений. Эти решения направлены на совершенствование конструкции, технологии изготовления, правил эксплуатации, системы технического обслуживания и ремонта объекта. Они обеспечивают предупреждение возникновения и ослабление тяжести возможных последствий его отказов, достижение требуемых характеристик.

Слайд 45

В процессе анализа видов, последствий и критичности отказов решают следующие задачи:

- выявление возможных видов отказов составных частей и изделия в целом, изучение их причин, механизмов и условий возникновения и развития;
- определение возможных неблагоприятных последствий возникновения выявленных отказов, проведение качественного анализа тяжести последствий

отказов и количественную оценку их критичности;

- составление и периодическая корректировка перечня критичных элементов и технологических процессов;
- оценка достаточности предусмотренных средств и методов контроля работоспособности и диагностирования изделий для своевременного обнаружения и локализации его отказов;
- обоснование необходимости введения дополнительных средств и методов сигнализации, контроля и диагностирования;
- выработка предложений и рекомендаций по внесению изменений в конструкцию и технологию изготовления изделия и его составных частей, направленная на снижение вероятности и тяжести последствий отказов;
- оценивают эффективности ранее проведенных доработок.

В процессе анализа видов, последствий и критичности отказов реализуют следующие этапы:

- оценивают достаточность предусмотренных в системе технологического обслуживания контрольно-диагностических и профилактических операций, направленных на предупреждение отказов изделий в эксплуатации;
- вырабатывают предложения по корректировке методов и периодичности технического обслуживания;
- анализируют правила поведения персонала в аварийных ситуациях, обусловленных возможными отказами изделий, предусмотренные эксплуатационной документацией;
- вырабатывают предложения по их совершенствованию или внесению соответствующих изменений в эксплуатационную документацию при их отсутствии;
- проводят анализ возможных ошибок персонала при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте изделий, оценивают их возможные последствия.

В результате на основании проведенного анализа вырабатывают следующие предложения:

- по совершенствованию человеко-машинных интерфейсов и введению дополнительных средств защиты изделий от ошибок персонала;
- по совершенствованию инструкций по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту изделий.

Слайд 46

Проведение анализа видов, последствий и критичности отказов не отменяет необходимости выполнения расчетов надежности объекта в соответствии с общими требованиями ГОСТ 27.301.

Планирование и выполнение расчетов надежности и анализа видов, последствий и критичности отказов должны осуществляться так, чтобы указанные элементы дополняли друг друга и взаимно служили источниками исходных данных. При этом по результатам анализа видов, последствий и критичности отказов уточняют критерии отказов объекта, модели, применяемые при расчете его надежности, задачи и содержание технического обслуживания и ремонта объекта. Методы и результаты расчетов надежности используют для оценки вероятностей отказов объекта, учитываемых при анализе их критичности.

Анализ видов, последствий и критичности отказов должен обеспечивать получение исходных данных:

- для планирования экспериментальной отработки объектов;
- для уточнения распределения требований надежности между составными частями объекта, внесения соответствующих изменений и дополнений в программу обеспечения надежности составных частей;
- для установления и уточнения требований по приспособленности объекта к диагностированию, его ремонтпригодности и других функций, указанных на слайде.

Слайд 47

Результаты анализа видов, последствий и критичности отказов учитывают:

- при принятии решений о завершенности этапов видов работ на стадиях жизненного цикла объектов;
- при сертификации объектов для проверки достаточности принятых при их разработке и изготовлении мер по обеспечению безопасности.

Рассмотрим основные принципы анализа видов, последствий и критичности отказов.

Данный анализ представляет собой сочетание качественного анализа видов и последствий отказов объекта с количественными оценками критичности.

В процессе анализа проводят предварительную количественную оценку и ранжирование выявленных возможных отказов объектов по тяжести их последствий. Это делается с целью определения необходимости дальнейшего углубленного анализа и оценки критичности отказов. А также для установления очередности проведения соответствующих доработок объекта, технологии его изготовления, системы технического обслуживания и ремонта.

Для обеспечения объективности и сопоставимости качественных оценок последствий отказов до проведения анализа должна быть выработана система классификации отказов по категориям тяжести их последствий. Указанная система может быть выработана применительно к конкретному объекту и приведена в методике анализа видов и последствий отказов. Либо установлена в соответствующем нормативном документе, распространяющемся на группу объектов.

Слайд 48

При установлении категории отказов по степени тяжести их последствий должны учитываться, по крайней мере, следующие факторы в различных сочетаниях:

- опасность отказа с учетом немедленных и отдаленных последствий для жизни и здоровья людей, окружающей среды, целостности и сохранности са-

мого объекта, другого имущества и материальных объектов;

- влияние отказа на качество и полноту функционирования объекта, на возможное причинение ущерба любого вида, обусловленное снижением качества функционирования объекта или невыполнением объектом определенных функций;
- скорость развития неблагоприятных последствий отказа, определяющая возможность принятия соответствующих мер защиты от них.

При анализе видов и последствий отказов может проводиться предварительная качественная оценка ожидаемой частоты наступления отказов разных категорий тяжести при эксплуатации объектов. Указанные оценки используют:

- для ранжирования отказов по очередности необходимых доработок объекта с целью их предупреждения с использованием матриц «вероятность отказа – тяжесть последствий», пример которых приведен на слайде;
- для построения шкал балльных оценок критичности отказов.

Критичность отказов оценивают по показателям, учитывающим для каждого анализируемого объекта:

- по вероятности возникновения отказа за время эксплуатации;
- по условной вероятности наступления всех возможных неблагоприятных последствий отказа, если он может сопровождаться несколькими различными по характеру и тяжести последствиями;
- по размеру возможного ущерба в результате наступления каждого из ожидаемых последствий отказов.

В общем случае показатель критичности отказа представляет произведение его вероятности на средневзвешенный по условным вероятностям проявления последствий отказа размер ущерба от него. Хотя возможно применение иных способов измерения критичности отказов.

Значения вероятностей отказов, учитываемых при оценке их критичности, рассчитывают принятыми в расчетах надежности методами. Расчет проводят с учетом структуры объекта, уровней нагруженности и режимов работы его элементов по имеющимся справочным или экспериментальным данным об их надежности. Возможные последствия каждого отказа определяют по результатам анализа видов, последствий и критичности отказов объекта. Соответствующие условные вероятности наступления каждого последствия рассчитывают на основе моделей типа «дерева событий» или прогнозируют экспертными методами.

Для определения возможного ущерба от наступления определенных последствий каждого отказа в анализе видов, последствий и критичности отказов применяют:

- относительные балльные оценки с использованием соответствующей шкалы, разработанной применительно к конкретному объекту и принятой в методике его анализа, либо содержащейся в соответствующем нормативном документе;
- показатели, представляющие числовые характеристики соответствующих функций потерь и оцениваемые методами прогнозирования по априорным данным или путем моделирования аварийных ситуаций.

Балльные оценки возможного ущерба от отказов применяют для объектов, абсолютные оценки последствий отказов которых невозможны или нецелесообразны.

Слайд 50

Необходимость проведения анализа видов, последствий и критичности отказов конкретного объекта определяют по согласованию заинтересованных сторон при выработке требований к программе обеспечения его надежности.

Проведение такого анализа рекомендуется предусматривать для объектов:

- у которых возможны отказы, представляющие угрозу для безопасности лю-

дей, окружающей среды, способные причинить экономический или иной ущерб;

– у которых технически невозможно и экономически нецелесообразно прямое экспериментальное подтверждение соответствия установленным требованиям безопасности и надежности;

– у которых должна быть обязательная или добровольная сертификация.

Проведение анализа видов, последствий и критичности отказов должно быть обязательным в случае отсутствия исходных данных для применения иных методов анализа надежности объекта. Либо их объем и достоверность на рассматриваемом этапе жизненного цикла объекта признаны недостаточными.

Анализ не проводят в том случае, если цели и задачи анализа, сформулированные в настоящем стандарте, могут быть достигнуты другими методами. Например, при расчете надежности изучаются и учитываются возможные виды отказов объекта, их последствия и критичность.

Анализ проводят по плану, включаемому в программу обеспечения надежности или оформленному в виде самостоятельного документа, прилагаемого к программе обеспечения надежности. План проведения анализа должен устанавливать:

- стадии жизненного цикла объекта и соответствующие им этапы видов работ, на которых проводят анализ;
- виды и методы анализа на каждом этапе со ссылками на соответствующие нормативные документы и методики. При отсутствии необходимых документов план должен предусматривать разработку соответствующих методик анализа видов, последствий и критичности отказов рассматриваемого объекта;
- уровни разукрупнения объекта, начиная с которых проводят анализ на каждом этапе;
- сроки проведения анализа на каждом этапе, распределение ответственности за его проведение и реализацию результатов, сроки, формы и правила подготовки отчетности по результатам анализа;
- порядок контроля за проведением и реализацией результатов анализа со

стороны руководства организации-разработчика и заказчика.

Слайд 51

Анализ начинают с возможно более ранних этапов разработки объекта и систематически повторяют на последующих этапах по мере отработки конструкции и технологии изготовления объекта, накопления исходных данных. При проведении анализа на последующих этапах разработки должна быть предусмотрена проверка полноты реализации и эффективности мероприятий по доработкам, рекомендованных на предыдущих этапах.

На всех этапах анализ начинают с проведения анализа видов и последствий отказов объекта, по результатам которого принимают решения о необходимости углубленного количественного анализа и оценки критичности.

Уровень разукрупнения объекта, начиная с которого проводят анализ на определенном этапе его разработки, устанавливают, исходя:

- из требуемых результатов анализа;
- из степени отработанности конструкторской, технологической и эксплуатационной документации;
- из наличия необходимых исходных данных;
- из степени новизны конструкции объекта и его составных частей, технологий их изготовления, условий эксплуатации.

Слайд 52

Методика анализа видов, последствий и критичности отказов должна содержать:

- общую схему анализа одним из методов, установленных стандартом;
- формы и правила заполнения рабочих листов, применяемых при анализе;
- систему классификации отказов объекта по тяжести их возможных последствий или ссылку на соответствующий нормативный документ;

- систему кодирования элементов, функций и видов отказов;
- показатели критичности отказов, методы оценки величин, входящих в расчетные выражения для указанных показателей;

Методика анализа видов, последствий и критичности отказов также содержит:

- программные средства, применяемые при анализе, указания по их использованию, составу и содержанию вводимых данных;
- источники информации, используемой при анализе и расчетах показателей критичности, требования к точности и достоверности используемых данных;
- требования к содержанию и оформлению отчетов по результатам анализа;
- требования к формам, правила составления и порядок ведения перечней критичных элементов и технологических процессов.

По результатам анализа видов, последствий и критичности отказов для каждого этапа разработки должен быть составлен отчет, содержащий:

- формализованное описание объекта для целей анализа с указанием уровня его разукрупнения, до которого выполнялся анализ;
- описание метода и алгоритма анализа;
- заполненные рабочие листы, применявшиеся при анализе;
- сводные результаты анализа;
- заключение о возможности перехода к следующему этапу разработки объекта или предложения по кардинальной переработке проекта, если выявленные недостатки не могут быть устранены на последующих этапах.

Сводные результаты анализа должны включать перечень и классификацию возможных отказов объекта по видам, причинам и условиям возникновения, последствиям и критичности. Также они должны включать перечни критичных элементов и технологических процессов изготовления.

Слайд 53

В отчете также приводят предложения и рекомендации, реализуемые на последующих этапах разработки и касающиеся:

- внесения изменений в конструкцию и алгоритмы функционирования объекта, направленные на снижение вероятности выявленных отказов до приемлемого уровня. Или на повышение устойчивости функционирования объекта в случае их возникновения, а также на введение защиты от наиболее тяжелых последствий отказов;
- замены применяемых материалов и комплектующих изделий;
- направлений и задач экспериментальной отработки объекта, особенно в части отработки на надежность критичных элементов, проверки полноты выявления всех видов конструкционных отказов.

В отчете в том числе приводят предложения и рекомендации касающиеся:

- изменения средств контроля, диагностирования и индикации отказов, регламентов проверки технического состояния и технического обслуживания объектов в процессе эксплуатации;
- введения в технологию изготовления объекта специальных мер по предупреждению, выявлению и устранению дефектов критичных элементов;
- внесения в инструкции по эксплуатации соответствующих правил поведения обслуживающего персонала в случае возникновения критических или катастрофических отказов, с нацеливанием на минимизацию техногенных последствий.

Перечни критичных элементов составляют после завершения анализа на первом этапе разработки объекта. Их систематически корректируют на последующих этапах путем исключения элементов, эффективность доработок по которым подтверждена соответствующим анализом, и включения в перечень вновь выявленных критичных элементов.

Перечни критичных элементов утверждает руководитель разработки по

согласованию с заказчиком.

В перечни критичных элементов включают:

- элементы, возможная тяжесть последствий отказов которых, оцениваемая качественно или количественно, превосходит допустимый для рассматриваемого объекта уровень надежности;
- элементы, отказы которых неизбежно вызывают полный отказ объекта;
- элементы с ограниченным сроком службы, не обеспечивающим требуемой долговечности объекта;
- элементы, по которым в момент проведения анализа отсутствуют достоверные данные об их качестве и надежности в рассматриваемых условиях применения и возможных последствиях их отказов.

Слайд 54

В перечень критичных процессов включают технологические процессы, влияние которых на качество и надежность объекта и его элементов в момент проведения анализа неизвестно или недостаточно изучено.

Для каждого элемента, включенного в перечень критичных элементов, должны быть указаны:

- кодовое обозначение и ссылка на соответствующий рабочий лист анализа видов, последствий и критичности отказов;
- причины включения в перечень;
- описание возможных причин и последствий отказов;
- предлагаемые конструктивно-технологические и эксплуатационные меры по минимизации вероятности отказов или по снижению возможной тяжести их последствий;
- предложения по повышению устойчивости объекта к данному виду отказов; по проведению дополнительных исследований и испытаний с целью отработки данного элемента и получения данных по его надежности.

Рассмотрим методы анализа видов, последствий и критичности отказов.

Согласно ГОСТу, существуют следующие методы анализа:

- структурный;
- функциональный;
- комбинированный.

Структурные методы анализа видов, последствий и критичности отказов относят к классу индуктивных методов или анализов «снизу вверх». Они применяются для относительно простых объектов, отказы которых могут быть четко локализованы. При этом последствия каждого отказа элементов выбранного начального уровня разукрупнения могут быть прослежены на всех вышестоящих уровнях структуры объекта.

Слайд 55

Общая схема анализа структурным методом включает следующие основные операции:

- в соответствии с планом анализа устанавливают минимальный уровень разукрупнения, с которого начинают анализа видов и последствий отказов;
- на основе функциональной блок-схемы объекта идентифицируют все элементы выбранного уровня разукрупнения;
- для каждого идентифицированного элемента данного уровня на основе имеющихся классификаторов отказов, инженерного анализа, имеющихся априорных данных, составляют перечень возможных видов отказов данного элемента;
- для каждого вида отказов выбранного элемента определяют его возможные последствия на рассматриваемом и следующих уровнях структуры объекта.

Кроме того, при анализе структурным методом для элементов, отказы которых определенного вида непосредственно приводят к отказу объекта или снижению качества функционирования, оценивают категорию тяжести последствий отказов. Либо рассчитывают показатели критичности.

При таком виде анализа также повторяют описанные выше операции по-

следовательно для элементов всех вышестоящих уровней разукрупнения. Последствия отказов элементов нижестоящего уровня, которые не могут быть выражены в виде влияния на функционирование элементов данного уровня, рассматривают как самостоятельные виды отказов на этом уровне.

Помимо этого, выделяют отказы, категория тяжести последствий или оценки показателей критичности которых превосходят пределы, установленные планом анализа. Элементы, соответствующие этим отказам, включают в перечень критичных элементов.

Слайд 56

Для каждого критичного элемента:

- определяют наличие и оценивают достаточность предусмотренных средств и методов обнаружения, локализации и индикации отказов;
- определяют возможные меры, обеспечивающие сохранение работоспособности объекта при возникновении данного отказа и оценивают целесообразность их введения;
- определяют возможные меры по снижению вероятности отказов и оценивают их эффективность;
- определяют возможные способы предупреждения наиболее опасных последствий отказов.

Функциональные методы анализа видов, последствий и критичности отказов относят к классу дедуктивных методов, применяемых при анализе по схеме «сверху вниз». Эти методы используются для сложных многофункциональных объектов, отказы которых трудно априорно локализовать, и для которых характерны сложные зависимые отказы.

Общая схема анализа на основе функционального метода включает следующие операции:

- идентификацию всех функций, выполняемых объектом;
- определение перечня возможных нарушений для каждой функции на ос-

нове априорных данных, опыта исследователя, инженерного анализа и других доступных способов;

- оценку качества тяжести возможных последствий этого нарушения или количественно ожидаемый ущерб для каждого нарушения функции;
- выделение критических нарушений функции в соответствии с планом анализа, тяжесть возможных последствий которых или ущерб от которых превосходит пределы, установленные планом;
- построение с учетом плана анализа «дерева отказов» с указанием в качестве «вершинного события» выявленного критического нарушения с указанием отказов элементов всех уровней разукрупнения.

Слайд 57

Схема анализа на основе функционального метода включает следующие действия:

- на основе «дерева отказов» выделяют одиночные элементы или сочетания элементов, приводящие к критическому нарушению функций изделия;
- оценивают вероятности отказов одиночных элементов и выделенных комбинаций отказов, на основе которых рассчитывают показатели критичности;
- составляют перечни критичных элементов в соответствии с общими правилами согласно ГОСТу.

Для сложных объектов анализ проводят, как правило, комбинированными методами, сочетающими элементы структурных и функциональных методов.

Независимо от применяемого метода анализа видов, последствий и критичности отказов на первом этапе анализа:

- составляют перечень и описание всех задач, выполняемых объектом в процессе эксплуатации, необходимых как для отдельных элементов, так и для объекта в целом. Вплоть до установленного для данного этапа анализа или

предельно возможного уровня разукрупнения. При этом идентифицируют все элементы заданного и вышестоящего уровней, участвующие в выполнении каждой функции объекта;

- кодируют каждую функцию и элемент объекта в соответствии с установленной системой кодирования;
- описывают режимы и условия выполнения каждой задачи в виде временных диаграмм и циклограмм нагружения объекта и его элементов;
- составляют функциональную блок-схему объекта и структурную схему его надежности.

Слайд 58

Тема «Модели отказов»

Одним из методов оценки надежности является построение моделей отказов согласно ГОСТ Р 27.004-2009 «Надежность в технике. Модели отказов».

Модели отказов невосстанавливаемых и восстанавливаемых изделий с простым техническим обслуживанием и ремонтом определяются стандартом, указанным на слайде.

Рассмотрим основные термины теории надежности, необходимые для построения моделей отказов.

Вероятность отказа – это вероятность возникновения отказа изделия в пределах заданной наработки.

Вероятность отказа является дополнением до единицы вероятности безотказной работы.

Значение вероятности отказа равно отношению числа отказов испытанных изделий к числу их испытаний.

Модель – это формализованное описание сущности любой природы, определенное в степени, обеспечивающей единообразное понимание специалистами.

Модель отказов – модель, определяющая механизм развития процессов, приводящих к отказу изделия.

Деградиционное изменение – отдельно рассматриваемое необратимое изменение структуры изделия, ухудшающее его свойства, изменяющее параметры и характеристики.

ГОСТ «Надежность в технике. Модели отказов» также дает определение следующим понятиям:

- деградация
- процесс деградации
- источник процесса деградации.

Данные определения приведены на слайде.

Слайд 59

Для описания случайного характера возникновения отказов в процессе эксплуатации изделий применяют вероятностно-статистические методы. Наиболее распространенными являются модели отказов, основанные на распределении соответствующих случайных величин:

- наработок до отказа невосстанавливаемых изделий;
- наработок между отказами восстанавливаемых изделий.

Для описания отказов изделия могут быть предложены разные модели, предназначенные для решения различных задач надежности и по-разному учитывающие комплекс факторов, присущих характеру отказов. Например, для периода приработки, периода эксплуатации, долговечности и другие.

Общими требованиями к моделям отказов являются адекватность, универсальность и удобность.

В соответствии с этими требованиями модель должна:

- учитывать значимые факторы, обоснованно пренебрегать второстепенными и использовать инженерно убедительные допущения и предположения;
- охватывать как можно большее число частных случаев и быть применимой к различным ситуациям;

– быть понятной специалистам с ординарной подготовкой и приемлемой для практического применения.

Слайд 60

Основными видами распределения наработок изделий до отказа являются:

- экспоненциальный;
- Вейбулла;
- гамма;
- логарифмически нормальное;
- нормальное.

При решении отдельных задач применяют также специальные виды распределений, число которых составляет несколько десятков.

Экспоненциальное распределение наработок между отказами является асимптотическим при суперпозиции потоков отказов и при случайном разрежении потока отказов. Это распределение применяют в основном в области радиоэлектроники и электротехники.

Распределение Вейбулла представляет собой один из трех асимптотических видов распределений экстремальных значений – минимальной порядковой статистики. Его используют для обоснования в качестве модели отказов.

Гамма-распределение представляет собой свертку экспоненциальных распределений, и его применяют в качестве модели отказов изделий с резервом.

Нормальное распределение применяют в том случае, когда наработка до отказа изделия может быть представлена в виде суммы достаточно большого числа одинаково распределенных слагаемых. Его применение неудобно из-за области отрицательных значений наработок.

Логарифмически нормальное распределение применяют в том случае, когда развитие процесса, приводящего к отказу, можно представить в виде

произведения последовательных независимых случайных величин. Например, при росте трещины.

Слайд 61

Рассмотрим общий вид функции распределения наработок до отказа изделий на неограниченном и ограниченном интервалах.

Функцию распределения наработок до отказа изделий на неограниченном интервале $(0, \infty)$ [от нуля до бесконечности] определяют по формуле 1. Эту формулу называют основным уравнением надежности.

На практике функцию распределения наработок до отказа рассматривают на ограниченном интервале $(0, b)$ [от нуля до бэ] и пренебрегают ее правым «хвостом» на интервале (b, ∞) [от бэ до бесконечности]. При этом интеграл в степени экспоненты в формуле 1 равен некоторому положительному числу M [эм], формула 2.

Тогда формула 1 примет вид формулы 3.

Интеграл в формуле 3 увеличивается с увеличением t [тэ] и при $t = b$ [тэ равно бэ] он равен единице. Этот интеграл представляет собой функцию распределения $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] некоторой случайной величины z [зэт], определенной на интервале $(0, b)$ [от нуля до бэ], а $f_0(t)$ [эф малое нулевое о тэ] – плотность ее распределения.

Слайд 62

Функция распределения наработок изделий до отказа на интервале $(0, b)$ [от нуля до бэ] может быть представлена в виде формулы 4.

Эта функция зависит от двух параметров: константы M [эм] и функции $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] случайной величины z [зэт].

Уровень безотказности изделий существенно зависит от технологии их изготовления. Модели не учитывают взаимосвязь технологии и безотказности и не раскрывают механизм формирования и развития отказов вследствие вли-

яния технологического фактора. Для получения адекватных моделей необходимо установить зависимость видов распределений и значений их параметров от параметров, характеризующих технологический процесс изготовления изделий.

Рассмотрим физико-технологическую модель отказов невозстанавливаемых изделий

Предполагают, что условия и режимы эксплуатации однотипных изделий являются идентичными и различные значения наработок до отказа изделий определяются их внутренними различиями, возникающими в процессе изготовления.

Основа физико-технологической модели отказов заключается в следующем. Общий процесс деградации, развивающийся в изделии и завершающийся его отказом, представляют как случайную совокупность J [жи] из некоторого числа N [эн] потенциально возможных процессов деградационных изменений. Они развиваются на соответствующих материальных носителях, входящих в структуру изделия – источника процесса деградации.

Слайд 63

Причиной разнообразия источников процесса деградации и случайность их попадания в отдельные изделия является нестабильность любого конкретного производства, проявляющаяся в:

- колебаниях свойств поставляемых материалов, сырья, комплектующих изделий;
- ограниченной точности оборудования;
- изменчивости внешних факторов, влияющих на технологический процесс, состояние рабочих мест, дисциплину труда и другое.

Классификация источников процесса деградации в условиях конкретного производства зависит от возможностей системы контроля текущего состояния технологического процесса.

Классификацию проводят таким образом, чтобы обеспечить относительную независимость выделенных источников и соответствующих процессов деградиационных изменений.

В том случае, если зависимости существенны и ими нельзя пренебречь, совокупность зависимых источников процесса деградации следует рассматривать как отдельный самостоятельный источник.

Классификация источников процесса деградации имеет субъективный характер. Одни и те же структуры, процессы и явления могут быть исследованы с большей или меньшей степенью детализации и, соответственно, отнесены к различным источникам или к источникам одного вида. Для одного и того же производства может быть предложено несколько способов классификации источников процесса деградации. При этом модель не должна зависеть от способа классификации.

Слайд 64

Каждому из источников процесса деградации соответствуют:

- вероятность p_i [пэ итое] попадания в изделие;
- функция распределения времени развития соответствующего процесса деградиационных изменений до наступления отказа изделия $F_i(t)$ [эф итое от тэ] с математическим ожиданием T_i [тэ итое].

Если в изделии не содержится ни одного источника процесса деградации, то в этом случае его отказ наступает в результате «идеального» старения, физическая природа которого может быть произвольной. Этот процесс развивается в каждом изделии. То есть $p_{N+1} = 1$ [пэ энное плюс один равно единице], а функция $F_{N+1}(t)$ [эф энное плюс один от тэ] представляет собой функцию распределения наработки изделия до предельного состояния.

Во избежание логических противоречий следует предположить, что отказы из-за «идеального» старения происходят позже, чем из-за развития процесса деградиационных изменений по всем источникам процесса деградации. И

на временной оси есть, по крайней мере, одна точка b [бэ], для которой выполняется условие по формуле 5.

Рассмотрим распределение наработки до отказа.

Условная функция распределения наработки до отказа изделия представляет собой распределение минимума фиксированного числа случайных величин согласно формуле 6. При условии, что в изделии находится конкретный набор источников процесса деградации J [жи].

Вероятности P_j [пэ житое] соответствующих наборов источников распределены по полиномиальному закону.

Безусловную функцию распределения наработки изделий до отказа по всем источникам определяют по формуле полной вероятности 7.

Эта функция представляет собой распределение минимума случайного числа случайных величин, формула 8.

Слайд 65

Особенностью формулы 8 как модели отказов является то, что в нее входят вероятности p_i [пэ итое], характеризующие текущее состояние технологического процесса.

Рассмотрим распределение наработки до отказа при малых значениях вероятностей.

На практике важным является случай, когда вероятности p_i [пэ итое] достаточно незначительны, и, кроме того, они имеют приблизительно одинаковые значения. То есть источники классифицированы с приблизительно одинаковой степенью детальности и среди них нет такого, который превалировал бы над всеми остальными источниками процесса деградации.

Большое значение p_i [пэ итое] говорит о том, что данный источник процесса деградации рассмотрен недостаточно подробно. Его следует подразделить, если это возможно, на несколько источников с меньшими значениями вероятностей. Либо это указывает на то, что следует обеспечить корректирующие изменения технологического процесса, уменьшающие значение такой

вероятности. Если это сделать невозможно, то такой источник следует отнести к «идеальному» старению, поскольку он «блокирует» проявление в изделиях других, более мелких источников процесса деградации. Развитие процессов деградации в них завершается отказом изделия при более длительных наработках.

При этом условии формулу 8 можно преобразовать в выражение 9.

Это преобразование не подходит для распределения минимума фиксированного числа случайных величин в соответствии с формулой 6 при больших значениях наработок.

Формула распределения наработки до отказа изделия указана на слайде под номером 10.

Функция распределения наработки до отказа изделия, определенная по формуле 9, соответствует общему виду, определенному по формуле 5.

Слайд 66

Параметр M [эм], определенный по формуле 10, равен среднему числу источников процесса деградации, попадающих в одно изделие в процессе его изготовления.

Функция $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] представляет собой распределение смеси распределений развития процессов деградации по всем источникам.

В распределении смеси каждый источник процесса деградации учитывают с вероятностью, равной ее доле в суммарной вероятности всех источников, потенциально возможных в условиях данного технологического процесса.

Инвариантность параметра M [эм] и функции $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] к способу классификации источников проявляется в следующем. Более детальная классификация источников процесса деградации в интервале наработок $(0, b)$ [от нуля до бэ] приводит к увеличению числа N [эн]. Но при этом уменьшаются значения вероятностей p_i [пэ итое] так, что среднее число источников остается постоянным. Увеличение числа источников процесса деградации, уменьшение вероятностей p_i [пэ итое] и изменение вида функций $F_i(t)$ [эф итое

от тэ] происходит взаимозависимо, таким образом, что функция смеси $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] сохраняет свой вид.

Погрешность формулы 9 зависит от числа N [эн]. Наибольшая погрешность имеет место при $N = 1$ [эн равно единице], когда в изделие может попасть только один источник. При условии незначительности соответствующей вероятности это означает, что классификация проведена неудачно. Большинство изделий не содержит данного источника и поведение их наработки до отказа определяется «идеальным» старением.

Погрешность быстро уменьшается с увеличением N [эн] и становится практически незначимой при $N = 5 - 7$ [эн равно пять – семи].

Слайд 67

Аппроксимация модели

Вид распределения наработки до отказа изделий $F(t)$ [эф от тэ] определяется видом функции $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ], которая характеризует технологический процесс с позиций безотказности. Если предположить, что каждое распределение $F_i(t)$ [эф итое от тэ] зависит только от двух параметров, то с учетом вероятностей p_i [пэ итое] общее число параметров функции $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] будет равно $3N$ [три эн]. Функцию с таким числом параметров не применяют и ее следует аппроксимировать.

Рассмотрим ступенчатую функцию $F_{0s}(t)$ [эф нулевое эс от тэ]. По оси абсцисс отложены упорядоченные по возрастанию средние значения наработок T_i [тэ итое], а по оси ординат – соответствующие нормированные вероятности $\frac{p_i}{M}$ [пэ итое на эм]. Функция $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] отличается от функции $F_{0s}(t)$ [эф нулевое эс от тэ] сглаженностью ступеней. При этом общий характер поведения обеих функций во всем диапазоне изменения наработок является одинаково удобным для выбора аппроксимирующей их функции $F_{0A}(t)$ [эф нулевое а от тэ] с одним, двумя или тремя параметрами.

В условиях конкретного производства строят ступенчатую функцию $F_{0S}(t)$ [эф нулевое эс от тэ], соответствующую принятой системе контроля состояния технологического процесса. А в качестве аппроксимирующей ее функции используют любую непрерывную функцию $F_{0A}(t)$ [эф нулевое а от тэ], приемлемым образом сглаживающую $F_{0S}(t)$ [эф нулевое эс от тэ].

Устойчивость модели к способам классификации источников выражается в следующем. Разные функции $F_{0Si}(t)$ [эф нулевое эс итое от тэ] соответствуют разным i -ым [итым] классификациям. Функции $F_{0Si}(t)$ [эф нулевое эс итое от тэ], как и сама функция $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ], могут быть в одинаковой степени хорошо сглажены одной и той же аппроксимирующей их функцией $F_{0A}(t)$ [эф нулевое а от тэ].

Способ выбора аппроксимирующей функции изображен на рисунке.

Слайд 68

Рассмотрим основные аппроксимации распределения наработок до отказа.

Однопараметрическая аппроксимация

Наиболее простая аппроксимирующая функция $F_{0A}(t)$ [эф нулевое а от тэ] представляет собой равномерное распределение на интервале от нуля до b , формула 11.

Так получают экспоненциальное распределение наработок изделий до отказа, смотрите формулу 12.

При увеличении значения b [бэ] увеличиваются значения N [эн] и M [эм] в результате выявления новых источников. Формула 12 сохраняет свой вид, если отношение $\frac{M}{b}$ [эм к бэ] остается постоянным, а значение последнего слагаемого в правой части формулы 12 стремится к нулю.

Двухпараметрическая аппроксимация

Моменты завершения процессов деградиационных изменений по всем источникам могут быть распределены не равномерно на интервале $(0, b)$ [от нуля

до бэ], а со смещением их концентрации в ту или иную сторону – к 0 [нулю] или к значению b [бэ]. При этом наиболее просто это может быть учтено путем добавления в аппроксимирующее равномерное распределение параметра формы α [альфа] в соответствии с формулой 13. В результате получают распределение Вейбулла наработок до отказа изделий в соответствии с формулой 14.

Слайд 69

Аппроксимация при большом числе параметров

Если изделие имеет период приработки и интенсивность отказов постепенно снижается до некоторого постоянного уровня, структуру изделия можно представить в виде последовательного соединения двух элементов:

- совокупности источников, функцию $F_{0A1}(t)$ [эф нулевое а один от тэ] которой аппроксимируют равномерным распределением;
- совокупности источников, функцию $F_{0A2}(t)$ [эф нулевое а два от тэ] которой аппроксимируют степенным распределением с параметром $\alpha < 1$ [альфа меньше единицы].

Таким образом, данный случай сводится к комбинации двух предыдущих случаев: экспоненциального и Вейбулла распределений.

Аналогично аппроксимируют распределение наработок до отказа в том случае, когда интенсивность отказов возрастает, то есть наступает приближение периода старения. Структуру изделия представляют в виде последовательного соединения двух элементов:

- совокупности источников, функцию $F_{0A1}(t)$ [эф нулевое а один от тэ], которой аппроксимируют равномерным распределением;
- совокупности источников, функцию $F_{0A2}(t)$ [эф нулевое а два от тэ], которой аппроксимируют степенным распределением с параметром $\alpha > 1$ [альфа больше единицы].

Рассмотрим следствия применения физико-технологической модели.

Особенности распределений наработок до отказа

В результате постоянных изменений параметров технологического процесса, неизбежных в той или иной степени в условиях любого производства, соответственно флуктуируют, изменяются значения вероятностей p_i [пэ итое]. Таким образом, непосредственно из модели следует, что в вероятностном смысле распределения наработок до отказа не существует.

Слайд 70

Условно можно говорить о мгновенном распределении наработок до отказа, имеющем место в каком-либо текущем моменте времени технологического процесса. Либо об усредненном за некоторый период времени распределении, если пренебречь различного рода зависимостями наработок.

Относительно устойчивый вид распределения наработок до отказа может существовать только в условиях достаточно стабильного производства, характеризующегося достаточно постоянными значениями p_i [пэ итое].

Физический фактор в модели представляет время развития процессов деградации до отказа, значения которых определяются природными закономерностями, не зависящими от фактора производства.

Технологический фактор представляют вероятности попадания отдельных источников процесса деградации в изделия, значения которых определяются состоянием производства.

Из двух факторов технологический в большей степени оказывает формирующее влияние на вид распределения наработок до отказа. Вид распределения наработок до отказа определяется не конструкцией изделия, а состоянием технологического процесса.

В тех случаях, когда распределение наработок до отказа может возникнуть в условиях стабильного производства, его вид является многопараметрическим и неприемлем для математического описания. Истинный вид распределений, даже если он существует, в теории надежности не используют.

Однопараметрическое экспоненциальное и двухпараметрическое Вейбулла распределения представляют собой наиболее простые аппроксимации истинных распределений наработок изделий до отказа.

Аппроксимационная интерпретация экспоненциального и Вейбулла распределений раскрывает их универсальные для надежности свойства. В дополнение к асимптотическим интерпретациям суперпозиции потоков отказов и минимальной порядковой статистики.

Слайд 71

Характеристическое свойство экспоненциального распределения, трактуемое как «нестарение», состоит в том, что распределение безотказно проработавшего в течение некоторого периода времени изделия совпадает с распределением нового изделия. Это является противоестественным для невозстанавливаемых изделий.

Из физико-технологической модели следует иное объяснение характеристического свойства. При невыявленном составе источников в отдельном изделии невозможно указать, какие из процессов деградации в нем развиваются, также то, что с ним произойдет в дальнейшем. Однако это не означает, что изделие не стареет.

Важной характеристикой является интенсивность отказов, имеющая следующее математическое определение. Интенсивность отказов – предел отношения условной вероятности того, что момент возникновения отказа попадет в заданный интервал $(t + \Delta t)$ [t э плюс дельта t э] к длине этого интервала Δ [дельта], стремящейся к нулю. При условии того, что до начала этого интервала изделие находилось в работоспособном состоянии в соответствии с формулой 15.

Физико-технологическая модель дополняет математическое определение инженерным определением. Интенсивность отказов представляет собой произведение среднего числа источников процессов деградации, попадающих

в одно изделие, и плотности распределения смеси распределений развития процессов деградации по всем источникам, формула 16.

Характерной особенностью функции распределения наработок до отказа является нарастание неопределенности по мере перемещения к ее правому «хвосту». Данная неопределенность проявляется в усложнении классификации мелких источников процесса деградации, приводящих:

- поздним отказам, выявлению факторов, приводящих к возникновению таких источников;
- к утрате возможности осуществлять корректирующие изменения технологического процесса по стабилизации вероятностей попадания мелких источников в изделия. А также в неопределенности, связанной с переходом от мелких источников к «идеальному» старению.

Слайд 72

Рассмотрим подходы к управлению безотказностью в процессе производства.

Использование физико-технологической модели дает возможность контролировать уровень безотказности изготавливаемых изделий. Контроль реализуется путем оценки параметра M [эм] и функции $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] по параметрам технологического процесса. Для этого следует провести классификацию источников, определить вероятность их попадания в изделия и продолжительность развития соответствующих деградационных изменений до отказа изделия. Эта работа требует проведения исследований, подготовки производства и последующей постоянной поддержки.

Преимущество данного способа контроля заключается в использовании дополнительной информации, что позволяет существенным образом сократить объемы испытаний на безотказность. При этом результаты контроля могут быть точнее результатов, полученных при испытаниях ограниченного объема.

Данный способ является перспективным для совершенствования производственных способов контроля надежности.

Взаимосвязь модели отказов с параметром M [эм] и функцией $F_0(t)$ [эф нулевое от тэ] позволяет:

- проследивать и учитывать изменение этих параметров во времени;
- повышать безотказность изделий по мере отладки производства;
- управлять безотказностью;
- вовремя вводить в технологический процесс корректирующие изменения.

Слайд 73

Контроль безотказности изделий по параметрам технологического процесса можно рассматривать как специальный вид форсированных испытаний.

В процессах нормального и форсированного испытаний остаются неизменными совокупность потенциально возможных источников процесса деградации данного производства и вероятности p_i [пэ итое] попадания отдельных источников в изделия. При этом изменяются значения средних продолжительностей развития процессов деградации до наступления отказа T_i [тэ итое] по всем источникам, причем в разной степени в зависимости от вида источника.

По результатам форсированных испытаний определяют совокупность значений коэффициентов ускорений физических процессов деградации k_i [ка итое], развивающихся на соответствующих источниках. Коэффициент ускорения испытаний определяют путем расчетов по значениям коэффициентов ускорений k_i [ка итое] и вероятностям p_i [пэ итое].

Коэффициент ускорения k_i [ка итое] является постоянной величиной, поскольку касается физической стороны дела, и после первоначального определения его следует только уточнять. Форсированные испытания приобретают в рамках физико-технологической модели отказов характер исследовательских испытаний, направленных на повышение достоверности результатов.

Слайд 74

Рассмотрим модели отказов восстанавливаемых изделий.

Поток отказов восстанавливаемых изделий представляет собой суперпозицию потоков отказов элементов. При незначительных и, как правило, соответствующих практике предположениях наработки между соседними отказами в объединенном потоке аппроксимируют экспоненциальным распределением.

Статистические данные о наработках между отказами многоэлементных и сложных восстанавливаемых изделий характеризуются коэффициентами вариации, значения которых более 1.

Это происходит потому, что реальный поток отказов изделий, наряду с суперпозицией потоков отказов элементов, содержит также дополнительные отказы, возникающие в следующих случаях.

Не всегда отказавший элемент является причиной отказа изделия. Он представляет собой форму проявления отказа, а причина может заключаться в чем-то другом. Чем сложнее изделие, тем чаще бывают случаи, когда замена отказавшего элемента устраняет не основную причину отказа, а только его последствия. Подобные случаи обычно происходят несколько раз, до тех пор, пока обслуживающий персонал не обратит на них внимание и не обнаружит и устранит основную причину.

Новый элемент, установленный вместо отказавшего, может иметь скрытый дефект, который также проявится повторным отказом через непродолжительное время после возобновления работы изделия.

Возможны случаи неумышленного создания неполадок персоналом, устраняющим очередную неисправность, в результате чего изделие отказывает через некоторое время после возобновления работы.

Среди указанных причин доминирующая роль принадлежит первой. Число дополнительных отказов тем больше, чем сложнее изделие. Эти отказы, с одной стороны, уменьшают значение средней наработки на отказ изделия. А с другой стороны, приводят к увеличению доли коротких наработок между отказами по сравнению с экспоненциальным распределением.

Слайд 75

Функция распределения наработок между отказами сложных восстанавливаемых изделий характеризуется убывающей со временем интенсивностью отказов. Физически это может быть объяснено следующим образом. Если после очередного восстановления изделие сохраняет свою работоспособность в течение все большего периода времени, то это свидетельствует о том, что при данном восстановлении не произошло событий, приводящих к дополнительным отказам.

Фактор дополнительных отказов является существенным и требующим учета при прогнозировании безотказности сложных изделий.

Рассмотрим основные процедуры анализа надежности.

Общая процедура анализа надежности представлена на слайде и состоит из следующих задач в порядке их применения.

Определение исследуемой системы, режимов и условий ее работы, функциональных связей, включая интерфейсы или процессы. Обычно результаты определения системы являются входом в процесс разработки системы.

Определение всех требований или целей надежности и работоспособности системы, а также характеристик и особенностей системы, режимов ее эксплуатации, условий окружающей среды и требований обслуживания. Определение отказа системы, критериев отказов и условий, основанных на функциональной спецификации системы, ожидаемой продолжительности и условий эксплуатации.

Распределение требований или целей надежности системы по различным подсистемам на ранней стадии проекта при необходимости.

Слайд 76

Рассмотрим анализ надежности.

Анализ системы на основе методов надежности и соответствующих данных эффективности представляет собой:

- качественный анализ:
 - анализ функциональной структуры системы;
 - определение режимов неисправностей системы и компонентов, механизмов отказов, причин и последствий отказов;
 - определение механизма деградации, который может привести к отказу;
 - анализ путей отказа и неисправности;
 - анализ ремонтпригодности с учетом времени, метода изоляции и метода восстановления;
 - определение адекватности методов диагностики неисправностей;
 - анализ возможностей предотвращения неисправностей;
 - определение стратегий технического обслуживания и ремонта;
- количественный анализ:
 - разработка моделей надежности и эксплуатационной готовности;
 - определение необходимых числовых данных;
 - определение числовых оценок показателей надежности;
 - проведение необходимого анализа критичности и чувствительности;
- исследования и рекомендации.
- анализ выполнения целей требований надежности для рассматриваемого проекта и возможности их выполнения при использовании альтернативных проектов.

Общая процедура анализа объединяет некоторые элементы программы надежности, применимые для анализа надежности:

- спецификации надежности;
- анализ условий использования;
- разработка надежности, ремонтпригодности, человеческого фактора;
- моделирование надежности;
- анализ проекта и оценка продукции;
- анализ воздействия причин и анализ риска, анализ решений о заменах.

Слайд 77

Тема «Классификация и выбор методов для анализа надежности»

Методы для проведения анализа надежности, регламентированные стандартом, относятся к двум основным группам:

- основные методы анализа надежности;
- общие технические методы, которые могут быть использованы как вспомогательные при проведении анализа надежности, а также при проектировании надежности.

Общие технические методы обычно включают:

- исследование ремонтпригодности;
- анализ паразитных контуров схемы;
- анализ наихудшего случая;
- имитационное моделирование отклонений;
- разработку программного обеспечения по надежности.

Кроме того, к общетехническим методам относятся: анализ конечных элементов; ограничение допустимых значений и выбор частей; анализ Парето; диаграмма причин и следствий; анализ отчета об отказах и система корректирующих действий.

Следующие методы не выделены как самостоятельные, так как они являются модификацией упомянутых методов анализа надежности:

- анализ причин и следствий – комбинации ЕТА [и ти эй] и FTA [эф ти эй];
- динамический FTA [эф ти эй] – расширение FTA [эф ти эй], когда некоторые события представляются при помощи марковских моделей;
- функциональный анализ отказов – специальный вид FMEA [эф эм и эй];
- двоичные диаграммы решений, используемые главным образом для эффективного построения «дерева неисправностей».

Слайд 78

Рассмотрим распределение требований надежности.

Определение требований надежности для подсистем является существенной частью проектирования системы. Данная процедура требуется для того, чтобы определить эффективную архитектуру системы, реализующую требования надежности. Поскольку методы распределения для всех показателей надежности одинаковы, далее используется слово «надежность».

Сначала необходимо распределить требования надежности системы по подсистемам. При этом должны быть учтены сложность подсистем и опыт эксплуатации аналогичных подсистем. Если на начальном этапе проекта требования не выполнены, распределение и выполнение проекта необходимо повторить. Распределение требований надежности проводят с учетом анализа сложности, критичности, особенностей и условий эксплуатации системы.

Так как распределение требований надежности обычно происходит на раннем этапе проектирования, когда информация о системе отсутствует или ее очень мало, распределение необходимо периодически пересматривать.

Распределение требований по подсистемам и составным частям необходимо проводить на стадии определения. Это позволяет:

- проверить выполнение требований надежности для системы;
- установить в проекте выполнимые требования надежности для составных частей;
- установить четкие и поддающиеся проверке требования надежности для поставщиков.

Слайд 79

Распределение требований надежности проводят в следующем порядке:

- анализируют систему и идентифицируют области, для которых разработан проект;

– определяют соответствующие величины и их вклад в требования надежности системы. Разность между требованиями и фактическим уровнем надежности является частью требований надежности, которая должна быть распределена между другими составными частями системы.

Преимущества распределения требований надежности заключаются в том, что они:

- обеспечивают путь совершенствования продукции за счет понимания соотношения между целями надежности системы и ее элементами: подсистемами, блоками, компонентами;
- рассматривают надежность наравне с другими характеристиками проекта, такими как эффективность и стоимость;
- определяют цели надежности для поставщиков;
- помогают оптимизировать надежность системы, поскольку рассматривают такие факторы, как сложность, критичность, влияние условий эксплуатации.

Для распределения надежности существуют ограничения:

- часто предполагается, что элементы системы независимы, то есть отказ одного элемента не влияет на работу других элементов. Так как это предположение зачастую не выполняется, оно ограничивает область применения метода;
- распределение для систем с резервированием является более сложным. Для них рекомендуется использовать итеративные методы проверки выполнения целей надежности системы, например, метод анализа «дерева неисправностей».

Слайд 80

Методы анализа надежности классифицируют в соответствии с их главной целью по нескольким категориям, которые указаны на слайде.

Примерами методов для предотвращения неисправностей могут служить:

- ограничение допустимых значений;
- выбор частей;

– анализ прочности напряжения.

Методы анализа архитектуры системы и распределения надежности бывают восходящими и нисходящими.

Восходящие методы главным образом направлены на исследования последствий единичных неисправностей. К ним относятся:

- анализ «дерева событий» или ETA [и ти эй];
- анализ видов и последствий отказов FMEA [эф эм и а],
- исследование опасности и удобства использования HAZOP [эйч эй зет оу пи].

Нисходящие методы направлены на исследование последствия комбинаций неисправностей. Такими методами являются:

- анализ «дерева неисправностей» FTA [эф ти эй];
- марковский анализ;
- анализ сети Петри;
- таблица истинности или анализ функциональной структуры;
- анализ структурной схемы надежности RBD [а би ди].

Примерами методов для оценки характеристик основных событий являются следующие:

- прогнозирование интенсивности отказов;
- анализ надежности человеческого фактора HRA [эйч а эй];
- статистические методы надежности;
- программное обеспечение для проектирования надежности SRE [эс а и].

Методы различают также и по типу зависимых или независимых событий, с которыми они работают.

Эти методы анализа применимы как для оценки характеристик качества, так и для оценок количественных характеристик при прогнозировании поведения системы в эксплуатации. Достоверность результата зависит от точности и правильности данных об основных событиях.

Слайд 81

Однако ни один метод анализа надежности не может быть использован для всестороннего анализа реально существующих систем. Для проведения анализа надежности сложных или многофункциональных систем, как правило, необходимо применять несколько дополнительных методов анализа.

На практике использование комбинаций нисходящего и восходящего анализов является весьма эффективным и позволяет обеспечить полноту анализа.

Восходящие методы

Начальным этапом любого восходящего метода является идентификация режимов отказов на соответствующем уровне. Для каждого режима отказа определяют его влияние на эффективность системы. Восходящий метод анализа надежности позволяет четко идентифицировать все режимы одиночных отказов, поскольку он опирается на списки частей системы или другие контрольные списки. На начальных этапах разработки анализ может быть качественным и иметь дело с функциональными отказами. Затем может применяться количественный анализ.

Нисходящие методы

На начальном этапе нисходящего метода определяют одиночное неблагоприятное событие или событие, обеспечивающее функционирование системы на самом высоком уровне. Затем идентифицируют и анализируют причины этого события на всех уровнях.

Нисходящий метод начинают с самого высокого уровня, то есть с анализа надежности системы в целом или подсистемы и последовательно спускаются на более низкий уровень.

Затем анализ проводят на следующем более низком уровне системы, идентифицируют все отказы и соответствующие режимы последствий. Этот процесс продолжают до тех пор, пока не будет достигнут самый низкий уровень. Нисходящий метод используют для оценки многократных отказов,

включая последовательные зависимые отказы при наличии неисправностей общей причины, а также для сложных систем.

ГОСТ также регламентирует процедуру анализа технического обслуживания и ремонта. Обычно для оценки аспектов ремонта и технического обслуживания системы проводят специальный анализ.

Слайд 82

Выбор метода анализа для программы надежности является очень индивидуальным и осуществляется объединенными усилиями экспертов по надежности и эксплуатации системы. Выбор должен быть сделан на ранних этапах разработки программы и исследован на применимость.

При использовании следующих критериев выбор методов может быть упрощен по причинам:

- сложности системы. Это системы, например, включающие резервирование или другие особенности, обычно требующие более глубокого уровня анализа, чем простые системы;
- новизны системы. Вновь разрабатываемая система требует более тщательного анализа, чем разработанная ранее;
- качественного или количественного анализа. Количественный анализ проводится только при необходимости;
- единичности или многократности неисправности. Дополнительно определяется степень влияния комбинации неисправностей и возможность пренебрежения ими.

Метод анализа может быть также упрощен в случае использования таких критериев, как:

- зависимость поведения системы от времени или последовательности событий. В этом случае определяется значение для анализа последовательности событий либо зависимость поведения системы от времени;

- возможность использования метода для зависимых событий. Тогда определяется зависимость характеристики отказа или восстановления отдельного элемента системы от состояния системы в целом;
- применение восходящего или нисходящего анализа. Обычно применение восходящих методов является более простым. Применение нисходящих методов требует осмысления и творческого подхода и увеличивает возможности допущения ошибок.

Слайд 83

Кроме того, при выборе метода анализа надежности для его упрощения используются такие критерии, как:

- распределение требований надежности. В этом случае предусматриваются возможности приспособления метода к количественному распределению требований надежности;
- квалификация исполнителя, выявление уровня образования или опыта для правильного применения метода;
- применимость. Выявление стороны, применяющей метод: регулирующая это сторона или заказчик;
- необходимость инструментальной поддержки. Определяется необходимость дополнения метода компьютерной поддержкой в том случае, если он не может быть выполнен вручную;
- проверки правдоподобия результатов вручную или доступными инструментальными средствами;
- и другие в соответствии с ГОСТом.

Рассмотрим основные методы анализа надежности.

Прогнозирование интенсивности отказов является методом, который применяют главным образом на ранних стадиях проектирования для оценки интенсивности отказов оборудования и системы. Он может быть использован

также на стадии производства при необходимости улучшения количества продукции.

Слайд 84

Для прогнозирования используют один из трех основных методов:

- метод прогнозирования интенсивности отказов в исходных условиях, называемый количественным анализом частей;
- метод прогнозирования интенсивности отказов в эксплуатационных режимах, называемый анализом напряжений частей;
- метод прогнозирования интенсивности отказов, использующий анализ подобия.

Выбор метода зависит от объема имеющейся информации о системе, а также от необходимой точности аппроксимации.

Рассмотрим процессы прогнозирования интенсивности отказов в исходных условиях и те же процессы, но в эксплуатационных режимах.

Для обоих случаев необходимо знать количество и тип компонентов, входящих в систему, а также параметры эксплуатационных режимов, для которых проводится прогнозирование интенсивности отказов. Если параметры эксплуатационных режимов для компонентов совпадают с параметрами исходных условий, то записи об эксплуатационных режимах не делают. Однако если параметры эксплуатационных режимов отличаются от параметров исходных условий, то принимают во внимание используемые условия и режимы для компонентов. В связи с чем должны быть использованы специально разработанные модели. Для более точного прогноза необходима надежная база данных интенсивности отказов. В нормативных документах даны рекомендации, как установить интенсивность отказов в исходных условиях. Необходимые вычисления могут занять много времени, поэтому рекомендуется применять соответствующие программные средства.

Прогнозирование интенсивности отказов основано на следующих предположениях:

- компоненты соединены в системе последовательно, то есть отказ каждого компонента приводит к отказу системы;
- интенсивность отказов каждого компонента постоянна;
- отказы компонентов являются независимыми.

Слайд 85

Анализ подобия включает использование для прогнозирования надежности данных эффективности оборудования при эксплуатации для сравнения характеристик вновь разработанного оборудования с характеристиками оборудования-прототипа.

Сравнения характеристик аналогичного оборудования могут быть сделаны на уровне элемента, подсистемы или компонента. При этом используют одни и те же данные эксплуатации, но применяют различные алгоритмы и расчетные коэффициенты. Примеры сопоставляемых элементов приведены на слайде.

Для каждого указанного элемента необходимо сопоставлять все имеющиеся характеристики. Например, условия эксплуатации и условия окружающей среды могут включать установившуюся температуру, влажность, температурные изменения и так далее. Характеристики проектируемого оборудования могут включать количество компонентов, количество монтажных плат, схемы, размеры, массу, материалы и так далее.

Анализ подобия включает необходимые алгоритмы или расчетные методы для определения количества подобий и различий между исследуемым оборудованием и оборудованием-прототипом.

Анализ подобия элемента применяют в случае, когда оборудование-прототип имеет различия или недоступно для сравнения с вновь разработанным исследуемым оборудованием. Анализ подобия элемента – это структурированное сравнение элементов нового оборудования с подобными элементами ряда различных прототипов оборудования, для которых имеются данные надежности.

Слайд 86

Достоинства метода анализа подобия элемента:

- в случае наличия соответствующих данных, время и стоимость анализа будут очень небольшими;
- анализ адаптирован к ранним этапам проектирования и разработки, поскольку для него достаточно небольшого количества входной информации и данных;
- основная информация о надежности компонента получена на ранних этапах проектирования и разработки объекта;
- метод адаптирован как к ручному, так и к компьютерному вычислениям;
- применение метода не требует специального обучения.

Недостатки метода анализа подобия элемента:

- метод не применяют для систем с резервированием;
- вследствие недостатка исходной информации уровень точности прогноза может быть низким, особенно для небольших подсистем и производств, для повышенной точности работы коих требуются большие выборки;
- оценка режимов и последствий отказов невозможна.

Анализ «дерева неисправностей» FTA [эф ти эй] является нисходящим методом анализа надежности продукции. Он предназначен для идентификации и анализа условий и факторов, которые способствуют появлению нежелательного результата. Они также влияют на эффективность, безопасность, экономичность и другие характеристики системы.

FTA [эф ти эй] может использоваться для построения модели прогнозирования надежности, а также при проведении альтернативных исследований на стадии проектирования продукции.

FTA [эф ти эй] применяют для определения количественных оценок, характеризующих причины неисправности. FTA [эф ти эй] является эффективным методом, который идентифицирует и оценивает режимы отказов и причины известных или предполагаемых воздействий.

FTA [эф ти эй] позволяет учесть известные неблагоприятные воздействия и находить соответствующие режимы и причины отказов. FTA [эф ти эй] способствует своевременному смягчению потенциальных режимов отказов и повышению надежности продукции на стадии проектирования.

Слайд 87

FTA [эф ти эй] позволяет представить аппаратную и программную функциональную структуру системы, работает с основными событиями и является методом моделирования надежности.

FTA [эф ти эй] учитывает сложные взаимодействия частей системы, моделируя их функциональные зависимости или зависимости отказов, события, вызывающие отказ, общие причины событий и позволяет сформировать общее представление о системе. Условная схема «дерева неисправностей» представлена на слайде.

Для оценки показателей надежности и работоспособности системы с помощью FTA [эф ти эй] применяют такие методы, как булевы сокращения и анализ набора вырезок. Основными исходными данными метода являются интенсивности отказов, интенсивности восстановления, вероятности появления режимов неисправностей для компонентов.

Анализ «дерева неисправностей» имеет двойное применение: как способ идентификации причины известного отказа и как метод анализа режима отказа, моделирования и прогнозирования надежности.

FTA [эф ти эй] используют для исследования потенциальных неисправностей, их режимов и причин для определения количественной оценки их вклада в отказ системы при проектировании. «Дерево неисправностей» создают, чтобы представить не только функции системы, но также и ее аппаратные средства, программное обеспечение и их взаимодействие. Если человек является частью системы, человеческие ошибки могут быть включены в FTA [эф ти эй]. Вероятность появления причин режимов неисправностей определяют с помощью технического анализа и затем используют для оценки величины их

вклада в состояние полной неработоспособности системы. При этом допускают возможность изменений и повышения надежности.

FTA [эф ти эй] позволяет моделировать надежность комбинации аппаратных, электронных и механических средств и программного обеспечения, а также их взаимодействие. Таким образом, FTA [эф ти эй] является мощным инструментом анализа надежности системы.

Слайд 88

Ключевые элементы «дерева неисправностей»:

- клапаны и события;
- наборы вырезок.

Клапаны представляют собой результат, а события – вход в клапан. Символически представление некоторых конкретных клапанов может изменяться в процессе решения различных задач. Однако представление основных клапанов довольно универсально.

Наборы вырезок представляют собой группы событий, возникновение которых вызывает отказ системы. Минимальные наборы вырезок содержат минимальное количество событий, которые необходимы для отказа системы. При удалении одного события отказа системы не происходит.

При изображении «дерева неисправностей» используют символы, приведенные на слайде.

Достоинства метода:

- разработка может быть начата на ранних стадиях проектирования и затем разрабатываться более подробно одновременно с развитием проекта;
- идентифицируются и систематически регистрируются логические пути неисправности от их появления до основных причин при помощи булевой алгебры;
- допускается простое преобразование логических моделей в соответствующие вероятностные характеристики.

Ограничения метода:

- позволяет представить события в их зависимости от времени и последовательности возникновения;
- ограничиваются реконфигурацией системы и систем, функционирование которых зависит от их состояния.

Эти ограничения можно устранить, применяя FTA [эф ти эй] в комбинации с марковскими моделями, если те применяются для основных событий «дерева неисправностей».

Слайд 89

Анализ «дерева событий» ETA [и ти эй] распространяется на ряд возможных последствий реализации события или отказа системы. Эффективным может быть соединение «дерева событий» с «деревом неисправностей». Корень «дерева событий» может быть вершиной «дерева неисправностей». Эта комбинация иногда называется анализом причины и следствий, в котором FTA [эф ти эй] используют для анализа причин, а ETA [и ти эй] – для анализа последствий реализации события. Чтобы оценить серьезность последствий, которые следуют за реализацией события, необходимо идентифицировать, исследовать и определить вероятность всех возможных последствий.

Анализ «дерева событий» применяют в тех случаях, когда необходимо исследовать все возможные пути формирования событий, последовательность их появления и наиболее вероятные результаты или последствия. После начального события может произойти несколько последующих событий. Вероятность, связанная с реализацией определенного пути событий, равна произведению условных вероятностей всех событий на этом пути.

Ключевыми элементами применения ETA [и ти эй] являются: инициатор-первоначальное событие, последующие события и их следствия.

Главным преимуществом применения анализа «дерева событий» является возможность оценить последствия событий и способствовать снижению высокой вероятности неблагоприятного последствия. Анализ «дерева событий» является хорошим дополнением к анализу «дерева неисправностей».

Анализ «дерева событий» может быть также использован при анализе режимов отказов. В этом случае анализ прослеживает возможные пути события, с целью определения вероятных последствий отказа.

Анализ «дерева событий» необходимо проводить с особой осторожностью при работе с условными вероятностями и независимыми событиями.

Слайд 90

Рассмотрим анализ структурной схемы надежности.

Метод анализа структурной схемы надежности RBD [а би ди] является методом анализа надежности системы. RBD[а би ди] является графическим изображением представления логической схемы системы посредством подсистемы и ее компонентов и позволяет изобразить пути успеха работоспособности системы в виде логических связей подсистем и компонентов.

Метод анализа структурной схемы надежности RBD [а би ди] применяют на стадии определения продукции. Структурная схема надежности системы должна быть создана в начале разработки концепции. Разработка должна начинаться сразу же после завершения определения программы как часть анализа требований и непрерывно расширяться до более глубокого уровня детализации по мере увеличения данных для принятия решений.

Для разработки могут быть использованы следующие методы анализа:

- определение исправного состояния системы;
- разделение системы на функциональные блоки в соответствии с целями анализа надежности. Некоторые блоки могут представлять собой подсистемы, для которых могут быть разработаны свои структурные схемы надежности;
- проведение качественных исследований.

Количественные оценки по структурным схемам надежности проводят различными методами. В зависимости от типа структуры системы могут быть использованы:

- простые булевы методы,

- таблицы истинности и анализ путей и вырезок для прогнозирования показателей надежности и работоспособности системы, рассчитываемых на основе данных компонентов.

Слайд 91

Достоинства метода анализа структурной схемы надежности:

- структурную схему надежности часто создают непосредственно по функциональной диаграмме системы. Это позволяет сократить количество конструктивных ошибок и систематическое описание функциональных путей системы;
- этот метод пригоден для многих типов конфигурации системы, включая параллельные, избыточные, резервные и альтернативные функциональные пути;
- он пригоден также для полного анализа вариантов при изменении параметров эффективности системы.

Метод анализа структурной схемы надежности также:

- позволяет получить простые логические модели путей функционирования и отказа системы, например, с помощью булевой алгебры;
- пригоден для анализа вклада элементов в надежность системы;
- позволяет строить модели оценки вероятностных характеристик надежности и работоспособности системы;
- дает компактные результаты вероятностных характеристик для системы в целом.

Недостатки метода:

- не обеспечивает полного анализа неисправностей, то есть пути причина-следствие или следствие-причина не определяются;
- требует наличия вероятностной модели эффективности для каждого элемента диаграммы;
- не позволяет различать преднамеренные и непреднамеренные результаты, если аналитик не предусматривает для того специальных действий;

– направлен прежде всего на анализ работоспособности системы и не распространяется на сложные стратегии ремонта, технического обслуживания или общего анализа работоспособности;

– имеет те же ограничения, что и у методов, применяемых для анализа невосстанавливаемых систем.

Слайд 92

Тема «Анализ надежности различными методами»

Марковское моделирование – вероятностный метод, который учитывает статистическую зависимость отказов или характеристики ремонта отдельных компонентов для описания состояния системы. Следовательно, марковское моделирование может учитывать как воздействие независимых отказов компонентов, так и интенсивности перехода состояний под воздействием напряжений или других факторов. По этой причине марковский анализ применяют для оценки надежности функционально сложных систем со сложными стратегиями ремонта и технического обслуживания.

Метод основан на теории марковских процессов. Для прикладных задач надежности обычно используют гомогенную во времени марковскую модель, которая предполагает, что интенсивности переходов являются постоянными. Для этой модели применимы простые и эффективные численные методы решения и единственное ограничение его применения – размерность пространства состояний.

Представление поведения системы с помощью марковской модели требует определения всех возможных состояний системы, предпочтительно изображенных на диаграмме состояний и переходов. Кроме того, должны быть определены интенсивности перехода из одного состояния в другое. Выходами марковской модели являются вероятности пребывания системы в данном наборе состояний.

Этот метод применяют в случае, когда интенсивность перехода зависит от состояния системы, нагрузки или структуры системы, стратегии технического обслуживания или других факторов. В частности, структура системы и стратегии технического обслуживания выявляют зависимости, которые не могут быть получены другими методами.

Метод состоит из следующих ключевых элементов:

- определения пространства состояний системы;
- назначения интенсивностей перехода состояний, постоянных во времени;
- определения характеристик выхода: группировку состояний, которые приводят к отказу системы;
- разработки математической модели-матрицы интенсивностей переходов и решений марковских моделей для использования подходящего пакета программ;
- анализа результатов.

Слайд 93

Применение метода марковского моделирование дает следующие преимущества:

- обеспечение гибкой вероятностной модели для анализа поведения системы;
- возможность адаптации к сложным избыточным конфигурациям, сложной стратегии технического обслуживания, сложным моделям обработки неисправностей, деградационным режимам работы и общим причинам отказов;
- получение вероятностных решений для модулей, которые будут использованы в других методах, таких как методы структурной схемы надежности и «дерева неисправностей»;
- возможность точного моделирования последовательности событий определенного вида или порядка появления.

Ограничения метода:

- с увеличением количества компонентов системы количество состояний экспоненциально возрастает, что приводит к росту трудоемкости анализа;

- модель может быть трудна для пользователей в построении и при осуществлении контроля требует соответствующего программного обеспечения;
- числовые результаты можно получить только для постоянных интенсивностей переходов;
- некоторые показатели, такие как средняя наработка на отказ и средняя наработка до отказа, не могут быть получены непосредственно из марковской модели.

Слайд 94

Анализ сети Петри.

Сеть Петри является графическим методом представления и анализа сложных логических взаимодействий компонентов или событий в системе. Сеть Петри отражает такие сложные взаимодействия, как конкуренция, конфликт, синхронизация, взаимное исключение и ограничение ресурса.

Статичная структура исследуемой системы может быть представлена графом сети Петри. Граф сети Петри состоит из трех примитивных элементов:

- мест, которые представляют состояния системы;
- переходов, которые представляют события, после которых состояние системы изменяется;
- дуг, которые подключают места к переходам, а переходы к местам и представляют логически допустимые подключения между состояниями и событиями.

Состояние допустимо в данной ситуации, если соответствующее место отмечено, по крайней мере, одним маркером, изображаемым в виде точки «J» [джи]. Динамика системы представлена посредством движения маркеров в графе. Переход допускают, если его входные места содержат, по крайней мере, один маркер. Допускаемый переход может быть выполнен. При удалении перехода удаляют один маркер из каждого входного места и помещают один маркер в каждое место вывода. Правила постановки и удаления маркеров позволяют получить все достижимые маркировки, называемые набором дости-

жимости сети Петри. Набор достижимости включает все состояния, в которые система может попасть из начального состояния.

Сеть Петри может быть использована в качестве языка высокого уровня для создания марковских моделей. Некоторые инструментальные средства анализа надежности основаны именно на этом методе. Сети Петри обеспечивают также условия для моделирования.

Слайд 95

Сеть Петри рекомендуется применять в том случае, когда должны быть учтены сложные логические взаимодействия, так как этот метод использует обычно более простой и естественный язык для описания марковской модели.

Ключевой элемент сети Петри – описание структуры системы и ее динамического поведения с помощью примитивных элементов языка сети Петри. Для применения элементов метода требуется использование специальных программ.

Сети Петри применяют в тех случаях, когда необходимо представить сложные взаимодействия среди аппаратных или программных модулей, которые трудно описать другими методами.

Сети Петри являются основным средством разработки марковских моделей. Обычно описание системы посредством сети Петри требует значительно меньшего количества элементов, чем соответствующее представление.

Марковская модель автоматически может быть получена на основе сети Петри, а сложность процедуры аналитического решения будет скрыта от разработчика, который работает только на уровне этого метода.

Кроме того, сети Петри позволяют проводить качественный анализ структуры, основанный только на свойствах графа. Этот структурный метод анализа является более дешевым, чем построение марковской модели, и обеспечивает необходимой информацией для ее проверки и утверждения.

Так как количественный анализ основан на разработке и решении соответствующей марковской модели, большинство ограничений те же, что и для марковского анализа.

Методология сети Петри требует использования программных средств, разработанных квалифицированными специалистами.

Слайд 96

Рассмотрим анализ видов и последствий отказов.

Анализ видов и последствий отказов FMEA [эф эм и эй] является восходящим методом анализа надежности. Обычно его применяют для изучения материала, компонентов, отказов оборудования и их воздействий на следующий, более высокий функциональный уровень системы. Итерации этих шагов заканчиваются идентификацией всех режимов единичных отказов системы. FMEA [эф эм и эй] может быть использован для анализа систем, использующих технологии с простыми функциональными структурами отказов. Анализ видов, последствий и критичности отказов FMESA [эф эм и си эй] расширяет FMEA [эф эм и эй], определяя количество последствий отказа через вероятности появления и серьезности последствий. Серьезность последствий оценивают в соответствии с заданной шкалой.

Обратимся к исследованию опасности и работоспособности.

Исследование опасности и работоспособности HAZOP [эйч эй зет оу пи] – это детальный процесс идентификации проблем опасности и работоспособности, выполняемый группой специалистов. HAZOP [эйч эй зет оу пи] предназначен для идентификации потенциальных отклонений от целей проекта, а также для экспертизы их возможных причин и оценки последствий.

В основе HAZOP [эйч эй зет оу пи] лежит экспертиза с помощью управляющих слов. Примеры и значения управляющих слов приведены на слайде. Основное назначение HAZOP [эйч эй зет оу пи] – поиск отклонений от целей проекта, пожеланий проектировщика или требований спецификаций к функционированию системы, ее элементам и характеристикам. Чтобы облегчить

экспертизу, систему делят на части следующим образом: для каждой части определяют цель проекта, которая выражается через элементы, передающие особенности, присущие этой части и представляющие собой компоненты части.

Слайд 97

Элементы могут быть дискретными шагами или стадиями в процедуре, отдельными сигналами и элементами оборудования в системе управления, оборудованием или компонентами в процессе или электронной системе и так далее.

Идентификация отклонений от целей проекта достигается в процессе опроса с помощью заданных управляющих слов. Управляющее слово должно стимулировать образное мышление, сосредоточивать исследование на конкретной цели и выявлять идеи и суждения, максимизируя полноту исследования.

Исследование HAZOP [эйч эй зет оу пи] применяют на поздних стадиях разработки проекта для экспертизы средств эксплуатации и при изменении этих средств. Лучшее время для выполнения исследований HAZOP [эйч эй зет оу пи] непосредственно перед завершением проекта.

Ключевые элементы:

- исследование HAZOP [эйч эй зет оу пи] является творческим процессом;
- исследование опирается на систематическое применение управляющих слов для идентификации потенциальных отклонений от целей проекта;
- исследование опирается на использование этих отклонений в дальнейшей работе членов группы для исследования возможных причин отклонений и их последствий;
- исследование проводят под руководством обученного и опытного лидера исследования, который должен гарантировать всестороннее логическое и аналитическое изучение системы.

Ключевыми элементами исследований HAZOP [эйч эй зет оу пи] также являются:

- проведения исследований специалистами, обладающими необходимыми навыками и опытом в различных областях знаний;
- проведение исследований в атмосфере доброжелательности и откровенного обсуждения. После идентификации проблемы ее регистрируют для последующих оценок и выводов;
- регистрация решения по идентификации проблемы для дальнейшего рассмотрения лицами, ответственными за проект.

Слайд 98

Исследования HAZOP [эйч эй зет оу пи] состоят из четырех основных последовательных этапов, указанных на слайде.

Достоинства метода:

- при исследовании используются навыки и знания группы экспертов, каждый из которых должен знать определенный аспект исследуемой системы;
- метод эффективен для обнаружения как причин, так и последствий отклонений на различных уровнях системы;
- метод применяют для анализа технологических процессов;
- результаты исследования имеют большое значение при определении необходимых корректирующих мероприятий.

Хотя исследования HAZOP [эйч эй зет оу пи] чрезвычайно полезны в различных отраслях промышленности, они имеют ограничения, которые необходимо учитывать при рассмотрении вопроса о применении метода HAZOP [эйч эй зет оу пи]:

- HAZOP [эйч эй зет оу пи] рассматривает каждую часть системы и исследует воздействие отклонений на каждую ее часть. Иногда взаимодействие между частями системы является опасным. В этих случаях опасность должна исследоваться более подробно с применением таких методов, как метод «дерева событий» и анализ «дерева неисправностей»;

– при использовании любой другой методики идентификации опасностей или проблем работоспособности не может быть гарантии того, что все опасности или проблемы работоспособности будут идентифицированы. Поэтому исследование сложной системы не должно быть ограничено только исследованием HAZOP [эйч эй зет оу пи]. Этот метод используют совместно с другими подходящими методами;

– существуют системы, тесно связанные между собой, в которых причины неисправности одной системы могут находиться в другой системе. Локальное совершенствование в этом случае не сможет устранить реальную причину, и неисправность по-прежнему может возникать.

Кроме того, ограничения метода заключаются также в следующем:

– успех исследования в большой степени зависит от способностей и опыта лидера исследования и взаимодействия между членами группы;

– метод HAZOP [эйч эй зет оу пи] предназначен для исследования только частей системы, их элементов и характеристик, указанных в описании проекта. Действия и операции, которых нет в описании проекта, не анализируют.

Слайд 99

Рассмотрим анализ надежности человеческого фактора.

Анализ надежности человеческого фактора HRA [эйч а эй] является частью анализа человеческого фактора, который включает распределение функций, задач и ресурсов среди людей и машин, а также оценку надежности действий человека. Анализ человеческого фактора не является самостоятельной дисциплиной. В этом методе используются такие дисциплины, как психология, физиология, социология, медицина и проектирование.

Специфическая цель анализа человеческого фактора состоит в том, чтобы оценить факторы, которые могут воздействовать на надежность действий человека при эксплуатации системы. Надежность человека необходима для успешной работы системы «человек-машина» в условиях воздействия различных факторов. Эти факторы могут быть как внутренними, так и внешними.

Влияние человеческого фактора должно быть определено на всех стадиях разработки системы: от проекта до обучения, от эксплуатации до демонтажа. Метод применим как для рассмотрения системы в целом, так и для взаимодействия отдельных работников при эксплуатации системы.

При решении любой задачи, выполняемой человеком, отмечается возможность возникновения человеческой ошибки. После идентификации технических задач необходимо идентифицировать вероятные ситуации возникновения человеческих ошибок. Метод HRA [эйч а эй] является методом FMEA [эф эм и эй] для задач, связанных с человеческим фактором. Часто для решения подобных задач используют анализ «дерева событий». Он отражает не только информацию об итогах анализа, но и определяет схему количественной оценки комбинации отказов.

Слайд 100

Типичными элементами анализа надежности человеческого фактора являются:

- описание персонала, условий его работы и выполняемых задач;
- анализ интерфейсов «человек-машина»;
- анализ эффективности функций оператора;
- оценка эффективности анализа ошибки человека при выполнении заданных функций;
- документирование результатов.

Анализ неудач и несчастных случаев показывает, что надежность человеческого фактора является ключевым моментом надежности системы «человек-машина». Если учитывать только человеческий фактор, прогноз надежности системы может быть ложным.

Проведение анализа надежности человеческого фактора системы требует глубокого знания параметров эффективности действий человека.

Если необходимые данные отсутствуют, количественный анализ должен быть основан на экспертной оценке вероятностей человеческих ошибок.

Анализ человеческого фактора редко является частью разработки надежности системы, и иногда сложно убедить руководителей проекта начать анализ человеческого фактора или анализ надежности человека.

Рассмотрим пример, приведенный в стандарте. Возьмем систему, для запуска которой используют ключ, например, поезд. Предположим, что этот ключ должен быть заменен на электронную карту. Аналогичное решение используется в нескольких разновидностях автоматических кассовых аппаратов. Необходимо оценить влияние этого изменения на работоспособность системы относительно прежнего решения. Оценка проводят поэтапно.

Этап 1. Рассматривают поведение водителя в конкретных условиях работы и его взаимодействие с системой при запуске поезда. Задача человека состоит в том, чтобы ввести карту и код для подтверждения своей личности.

Этап 2. Проводят распознавание кода. Интерфейс известен из опыта эксплуатации кассовых аппаратов. Он состоит из читающего устройства, дисплея и числовой клавиатуры для введения личного кода.

Этап 3. Определяют задачи:

- а) ввод карты;
- б) ввод правильного кода.

Этап 4. Исследуют возможные человеческие ошибки.

Примеры ошибок по пункту «а» приведены на слайде.

Слайд 101

Рассмотрим анализ прочности и напряжений. Он определяет способность компонента или элемента противостоять электрическим и механическим воздействиям окружающей среды или другим напряжениям, которые могут быть причиной отказа. Этот анализ определяет физические последствия воздействия на компоненты, а также механические или физические свойства компонента. Вероятность отказа компонента прямо пропорциональна прикладываемым напряжениям. Определенные отношения напряжений к прочности компонента определяют его надежность.

Анализ прочности и напряжений используют прежде всего при определении надежности или эквивалентной интенсивности отказов компонентов. Кроме того, его используют при исследовании физики отказа и определении вероятностного режима отказа компонента, вызванного определенной причиной.

Структурная надежность компонента, то есть его способность выдерживать электрические или другие напряжения, зависит от его прочности или несущей способности. В этом случае надежность является вероятностной мерой эффективности компонента. Определение этой несущей способности включает неопределенность, поэтому ее выражают случайной величиной. Прикладываемое напряжение по этой же причине тоже представляют случайной величиной. Пересечение зон неопределенности этих случайных величин, представленных соответствующими распределениями, характеризует вероятность того, что напряжение превысит прочность, то есть вероятность появления отказа.

Оценки напряжений, прочности и результирующая надежность частей определяются вторыми моментами и зависят от дисперсий случайных величин, характеризующих ожидаемые напряжения и прочность. Зачастую задача упрощается до сравнения одной переменной напряжения с соответствующей характеристикой прочности компонента.

Слайд 102

В общем случае прочность и напряжение должны быть описаны функцией эффективности или функцией состояния, которая представляет множество характеристик проекта. Положительное значение этой функции соответствует безопасному состоянию, а отрицательное – состоянию отказа.

Ключевые элементы включают детальное знание составляющих материалов компонента и конструкции, а также других исследуемых свойств и соответствующих методов моделирования ожидаемых напряжений.

Анализ прочности и напряжений позволяет получить точное представление о надежности компонента как функции процессов, приводящих к отказу. Метод позволяет учесть изменения проекта, а также изменчивость прикладываемых напряжений и их взаимную корреляцию. В результате метод обеспечивает более глубокое понимание воздействий сложных напряжений и лучше отображает физику отказа компонента, поскольку позволяет учесть воздействие различных факторов, включая их взаимодействие.

В случае сложных напряжений и особенно тогда, когда имеется взаимодействие или корреляция между ними, решение задачи может быть очень сложным, требующим применения специальных программных средств. Другим недостатком анализа являются возможные ошибки в предположениях о распределениях случайных величин, которые могут привести к ошибкам при решении задачи.

Слайд 103

Перейдем к рассмотрению таблицы истинности.

Основой метода таблицы истинности ТТМ [ти ти эм] является анализ функциональной структуры. Его применяют при разработке электрических и электронных систем. Метод заключается в составлении списка всех возможных комбинаций состояний компонентов системы и изучении их последствий.

Начальные этапы применения метода совпадают с начальными этапами FMESA [эф эм и си эй]. Режимы отказов компонентов, а также их неработоспособные состояния должны быть идентифицированы. Каждый компонент характеризуется работоспособным состоянием и состоянием отказа. Состояние системы является комбинацией состояний компонентов, каждый из которых находится в работоспособном или неработоспособном состоянии.

По результатам анализа последствий всех составляющих векторов состояний компонентов разрабатывают таблицу. В результате все отказы системы оказываются идентифицированными. Результаты отображают в таблице, называемой «таблицей истинности», где «0» обозначает работоспособное со-

стояние, а «1» – неработоспособное. Исследование каждого вектора состояний должно также включать анализ отказа для идентификации вероятных общих причин отказа.

Вероятность неработоспособного состояния системы рассчитывают на основе вычисления вероятности появления каждого вектора неработоспособного состояния системы. Это возможно в том случае, когда компоненты независимы.

Метод ТТМ [ти ти эм] позволяет определить все возможные комбинации работоспособных и неработоспособных состояний компонентов. То есть он является наиболее строгим теоретическим методом. Для получения необходимых комбинаций таблицу истинности можно сократить булевым методом, но его довольно трудно применить к сложной системе, так как число состояний может быстро стать очень большим.

Слайд 104

Рассмотрим статистические методы оценки вероятности безотказной работы.

Безотказность является свойством, которое можно определить с помощью показателей безотказности. Эти показатели являются вероятностными характеристиками и требуют применения статистических методов.

Статистические методы могут быть использованы для определения количественной оценки показателей безотказности.

Для применения статистических методов необходимо собрать соответствующие данные, которые зависят от решаемой задачи. Данные, используемые для анализа безотказности, должны представлять собой информацию об эффективности работы элементов, которые могут отказывать. Тип данных зависит от типа исследуемого элемента. Например, основными данными для устройств краткого действия являются количество испытываемых элементов и количество не отказавших элементов. Основными данными для невозстанавливаемых элементов являются наработки до опасных событий. Основные дан-

ные для восстанавливаемых элементов – наработки в процессе срока службы элемента. Обычно не все элементы отказывают за период наблюдений. Поэтому наработку до отказа фиксируют только для отказавших элементов, а продолжительность наблюдений – для не отказавших элементов. Такие данные называют цензурированными. Их обработка достаточно сложна и зависит от целей исследования надежности и особенностей элемента.

Слайд 105

В дополнение к основным данным в статистический анализ может быть включена информация о факторах, влияющих на безотказность для оценки их воздействия на эффективность.

В статистических методах используют только количественные данные. Данные о надежности, соответствующие предыдущим испытаниям или эксплуатации, могут быть ограниченными, но полезными для оценки надежности. Поэтому данные предыдущих испытаний или эксплуатации могут быть использованы вместе с количественными данными для оценки надежности на основе байесовских методов.

Байесовские методы позволяют объединять данные из различных источников. Они включают разработку модели показателя надежности и последующее использование доступных данных для описания априорного распределения. Априорное распределение описывает неопределенность параметров модели или параметров надежности. Априорное распределение должно охватывать все доступные данные. К примеру, данные о надежности элементов в процессе их изготовления, данные о возможностях процессов производства и данные последних испытаний. Объединение всех данных в одно априорное распределение может быть использовано для анализа и решения сложных задач.

Байесовские методы формируют систему определения оценок, в которой оценки показателей надежности могут изменяться по мере поступления новых данных. Априорное распределение совместно с первоначальной моделью

надежности позволяет построить апостериорное распределение, на основе которого определяют модифицированную оценку показателя надежности. Например, начальная оценка надежности в процессе разработки проекта может быть модифицирована по мере поступления данных испытаний. Неопределенность оценок может быть определена количественно в виде верхних и нижних границ показателей надежности.

Байесовские методы могут быть использованы для объединения данных различных уровней системы, например, модуля и его компонентов.

Слайд 106

В зависимости от решаемой задачи используют различные модели надежности. Например, для описания срока службы используют экспоненциальное распределение или распределение Вейбулла. Для случайных процессов – степенную модель, кроме того, используют модели повышения надежности, деградации, технического обслуживания.

С помощью классических или байесовских методов для каждого вида моделей могут быть получены необходимые оценки с соответствующей областью неопределенности.

Классические статистические методы надежности обычно состоят из следующих этапов:

- идентификация модели надежности, которую необходимо использовать для решения задачи;
- идентификация данных, необходимых для определения параметров модели надежности;
- объединение используемых данных;
- оценка параметров статистической модели на основе классических методов;
- определение оценок показателей на основе построенной модели;
- повторение перечисленных этапов при необходимости получения новой оценки показателей надежности.

Байесовские методы надежности состоят из нескольких этапов, которые указаны на слайде.

Слайд 107

Преимущества всех статистических методов также указаны на слайде.

Кроме того, для байесовских методов характерны:

- отдельные технические данные, которые могут быть объединены с предыдущими данными об отказах;
- оценки показателей надежности, которые могут быть получены даже на ранних этапах создания изделия, когда информации о наблюдениях недостаточно.

Для всех статистических методов характерны трудности:

- при определении соответствующей функциональной модели, используемой для принятия решений;
- при структурировании данных, необходимых для анализа.

Кроме того, для байесовских методов характерно:

- выявление необходимых отдельных технических данных, которое может быть сложным;
- построение априорного распределения, которое также может представлять трудную задачу;
- модифицированная оценка показателей надежности по апостериорному распределению, которая не определяется прямым расчетом.

Слайд 108

Тема «Методы анализа рисков»

Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы с риском. От идентификации и анализа риска до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения риска посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий. Разработан ГОСТ Р 51901.1-2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем».

Анализ риска представляет собой структурированный процесс, целью которого является определение как вероятности, так и размеров неблагоприятных последствий исследуемого действия, объекта или системы. В настоящем стандарте в качестве неблагоприятных последствий рассматривается вред, наносимый людям, имуществу или окружающей среде.

Посредством проведения анализа риска предпринимаются попытки ответить на три основных вопроса:

- что может выйти из строя? Цель – идентификация опасности;
- с какой вероятностью это может произойти? Цель – анализ частоты возникновения риска;
- каковы последствия этого события? Цель – анализ предполагаемых последствий.

Поясим некоторые необходимые термины.

Под риском понимают сочетание вероятности события и его последствий. Понятие «риск» обычно используется тогда, когда предполагается хотя бы возможность негативных последствий.

Управление риском может включать мониторинг, переоценивание и соответствие принятым решениям.

Слайд 109

Когда речь идет об управлении риском, выделяют следующие основные понятия:

- оценка величины риска;
- оценивание риска;
- менеджмент риска.

Оценка величины риска может рассматривать стоимость, выгоды, озабоченность участвующих сторон и другие переменные, рассматриваемые при оценивании риска.

Оценивание риска может быть использовано для содействия решениям по принятию или обработке имеющихся данных о возникновении риска.

Менеджмент риска подразумевает скоординированные действия по руководству и управлению организацией в отношении рисков.

Обычно менеджмент риска включает оценку рисков, обработку рисков, принятие рисков и коммуникацию рисков.

Рассмотрим концепции анализа риска.

Риск присутствует в любой деятельности человека. Он может относиться к здоровью и безопасности. Риск может быть экономическим, например, приводящим к уничтожению оборудования и продукции вследствие пожаров, взрывов или других аварий. Он может учитывать неблагоприятные воздействия на окружающую среду.

Задачей управления рисками является:

- контроль, предотвращение или уменьшение риска гибели людей;
- снижение заболеваемости;
- снижение ущерба, урона имуществу и логически вытекающих потерь;
- предотвращение неблагоприятного воздействия на окружающую среду.

Слайд 110

Для повышения эффективности управления рисками необходимо проводить предварительный анализ риска, включающий:

- идентификацию риска и определение подходов к решению связанных с ним проблем;
- использование объективной информации при принятии решений;
- удовлетворение регламентированных требований к риску.

Результаты анализа риска могут использоваться специалистом, принимающим решение при оценке допустимости риска, а также при выборе между потенциальными мерами по снижению или устранению риска. С точки зрения специалиста, принимающего решение, к основным достоинствам анализа риска относятся:

- систематическая идентификация потенциальных опасностей;

- систематическая идентификация возможных видов отказов;
- количественные оценки или ранжирование рисков;
- оценка надежности возможных модификаций системы для снижения риска и достижения предпочтительных уровней ее надежности;
- выявление факторов, обуславливающих риск, и слабых звеньев в системе.

К достоинствам метода можно также отнести следующие его особенности:

- более глубокое понимание устройства и функционирования системы;
- сопоставление риска исследуемой системы с рисками альтернативных систем или технологий;
- идентификация и сопоставление рисков и неопределенностей;
- помощь в установлении приоритетов при совершенствовании санитарных требований и норм;
- формирование базы для рациональной организации профилактического обслуживания, ремонта и контроля.

Слайд 111

Все эти факторы играют важную роль в эффективном управлении рисками независимо от того, какие задачи рассматриваются.

Рассмотрим процесс управления рисками и распределения рисков по категориям.

Анализ риска является частью оценки риска и процесса управления риском и состоит из определения области применения, идентификации опасности и оценки величины риска.

Опасности риска могут быть отнесены к следующим четырем основным категориям:

- природные опасности;

- технические опасности, источниками которых являются промышленное оборудование, сооружения, транспортные системы, потребительская продукция, пестициды, гербициды, фармацевтические препараты;
- социальные опасности, источниками которых являются вооруженное нападение, война, диверсия, инфекционное заболевание;
- опасности, связанные с укладом жизни.

Очевидно, что данные категории не являются взаимоисключающими. Так при анализе технических опасностей часто бывает необходимо учитывать также влияние факторов из других категорий и других систем в качестве части анализа риска.

Риск также может быть классифицирован, исходя из характера возможных последствий. Например, характер последствий может быть:

- индивидуальным;
- профессиональным;
- социальным;
- приводящим к имущественному урону и экономическим потерям;
- касающимся окружающей среды.

Общей задачей анализа риска является обоснование решений, касающихся риска. Эти решения могут приниматься как часть более крупного процесса управления рисками посредством сопоставления результатов анализа риска с критериями допустимого риска. Во многих ситуациях возникает необходимость оценивания преимуществ того или иного решения. В целом назначение критериев допустимого риска является достаточно сложной задачей, особенно в социальной, экономической и политической областях, и находится вне сферы рассмотрения настоящего стандарта.

Слайд 112

Обратимся к проблемам применения анализа риска на различных стадиях жизненного цикла объекта.

Рассмотрим некоторые конкретные цели анализа риска, относящиеся к различным стадиям жизненного цикла опасных систем, оборудования или изделий.

На стадии проектирования такими целями являются:

- выявление главных источников риска и предполагаемых факторов, существенно влияющих на риск;
- предоставление исходных данных для оценки конструкции в целом;
- определение и оценка возможных мер безопасности, закладываемых в конструкцию;
- предоставление исходных данных для оценки потенциально опасных действий, оборудования или систем;
- обеспечение соответствующей информацией проводящих опытно-конструкторские работы, ориентированные на нормальные и чрезвычайные условия.

На данной стадии решаются и такие задачи как:

- оценка риска с учетом регламентов и других требований;
- оценка альтернативных конструктивных решений.

Слайд 113

На стадии изготовления, монтажа, эксплуатации и технического обслуживания основными целями являются:

- контроль и оценка эксплуатационных данных с целью сопоставления фактических показателей работы с соответствующими требованиями;
- обеспечение исходными данными процесса разработки методик эксплуатации, технического обслуживания, контроля и действий в чрезвычайных ситуациях;
- корректировка информации об основных источниках риска и влияющих факторах;

- предоставление информации о значимости риска для принятия оперативных решений;
- другие, указанные на слайде.

Стадия демонтажа, прекращения эксплуатации включает оценку риска, связанного с прекращением функционирования системы, а также обеспечение возможности выполнения соответствующих требований. Кроме того, необходимо обеспечение исходными данными процесса прекращения функционирования системы и ее демонтажа.

Рассмотрим процесс анализа риска.

Для повышения эффективности и объективности анализа риска и обеспечения сопоставимости с другими результатами по анализу риска необходимо соблюдать следующие общие правила. Процесс анализа риска должен осуществляться в соответствии со следующими этапами:

- определение области применения;
- идентификация опасности и предварительная оценка последствий;
- оценка величины риска;
- проверка результатов анализа;
- документальное обоснование и корректировка результатов анализа с учетом обновленных данных.

Слайд 114

Оценка риска включает проведение анализа частоты и анализа последствий. Документация разрабатывается на каждой стадии процесса.

Необходимым требованием является скрупулезное освоение информации о системе и используемых методах анализа. В том случае, если имеются результаты анализа риска для аналогичной системы, они могут быть использованы в качестве справочного материала. При этом необходимо доказать, что процессы являются похожими, и что внесение изменений не выявит существенных различий в результате оценки риска. Выводы должны основываться

на систематическом оценивании изменений и на том, каким образом полученные данные могут влиять на существующие опасности.

Для выработки плана анализа риска область применения его результатов должна быть определена и документально установлена. Определение области применения анализа риска должно включать следующие этапы:

- описание оснований и проблем, повлекших проведение анализа риска;
- описание исследуемой системы;
- описание используемых предположений и ограничивающих условий при проведении анализа;
- разработка формулировок решений, которые могут быть приняты, описание требуемых выходных данных, полученных по результатам исследований и от лиц, принимающих решения.

Первый этап предусматривает:

- формулировку задач анализа риска, основанных на внушающих тревогу идентифицированных потенциальных опасностях;
- определение критериев работоспособности и отказа системы. Основными потенциально опасными моментами могут быть нежелательные состояния системы, например, отказ системы, выброс ядовитого материала.

Слайд 115

Этап описания исследуемой системы должен включать в себя:

- общее описание системы;
- определение границ и областей контакта со смежными системами;
- описание условий окружающей среды;
- выделение видов энергии, материалов и информации, превышающих допустимые границы;
- определение рабочих условий и состояний системы, на которые распространяется анализ риска и соответствующие ограничения.

Кроме того, описание исследуемой системы включает установление источников, предоставляющих подробную информацию о всех факторах, имеющих отношение к анализируемым действиям и проблеме. В частности, должны быть описаны любые обстоятельства, касающиеся безопасности.

Задача по определению области применения анализа риска должна предусматривать тщательное ознакомление с анализируемой системой. Одна из целей ознакомления – это определение источников и методов использования специализированной информации.

Для решения поставленной задачи должны быть идентифицированы опасности, являющиеся причиной риска, а также пути, по которым эти опасности могут реализовываться.

Известные опасности должны быть четко и точно определены. Для идентификации опасностей, не учитываемых ранее при проведении анализа, должны применяться формальные методы.

Предварительную оценку значения идентифицированных опасностей необходимо выполнять, основываясь на анализе последствий и изучении их основных причин.

Предварительная оценка значения идентифицированных опасностей определяет выбор последующих действий:

- принятие немедленных мер с целью исключения или уменьшения опасностей;
- прекращение анализа, поскольку опасности или их последствия являются несущественными;
- переход к оцениванию риска.
- исходные допущения и результаты должны быть документально зафиксированы.

Слайд 116

Перейдем к рассмотрению процесса оценки величины риска.

При оценке величины риска должны исследоваться начальные события или обстоятельства, последовательность потенциально опасных событий, любые смягчающие факторы и характеристики. А также природа и частота возможных пагубных последствий идентифицированных опасностей. Эти критерии и меры должны распространяться на риски для людей, имущества и окружающей среды и должны включать значения неопределенностей оценок.

Методы, используемые для оценки величины риска, обычно являются количественными, несмотря на то, что степень детализации при подготовке исходной информации зависит от конкретного применения. Однако полный количественный анализ не всегда возможен из-за недостатка информации о системе или деятельности, подвергающейся анализу, отсутствия или недостатка данных об отказе и так далее. При таких обстоятельствах может оказаться эффективным сравнительное количественное или качественное ранжирование риска специалистами, хорошо информированными в данной области. В тех случаях, когда проводится качественное ранжирование, необходимо иметь четкое разъяснение всех используемых терминов и должно быть зафиксировано обоснование всех классификаций частот и последствий. В том случае, когда проводится полная количественная оценка величины риска, необходимо учитывать, что расчетные значения риска представляют собой оценки. Следует позаботиться о том, чтобы их точность соответствовала точности используемых данных и аналитических методов.

Элементы процесса оценки величины риска являются общими для всех видов опасности. В процессе анализа может возникнуть необходимость определения оценки вероятности опасности, вызывающей последствия, и проведения анализа последовательностей, обуславливающих события.

Слайд 117

Обратимся к анализу частот. Он используется для оценки вероятности каждого нежелательного события, выявленного на стадии идентификации

опасности. Для оценки частот происходящих событий обычно применяются три подхода, указанных на слайде.

Все эти технические приемы могут применяться по отдельности или совместно. Первые два подхода являются взаимодополняющими: каждый из них проявляет сильные стороны там, где другой имеет слабые. Повсюду, где это возможно, должны применяться оба подхода. Таким образом, они могут использоваться для взаимных проверок. Это помогает повысить степень достоверности результатов. В тех случаях, когда данные подходы не могут использоваться либо являются недостаточными, рекомендуется привлекать мнения экспертов.

Перейдем к рассмотрению анализа последствий. Он используется для оценки вероятного воздействия, которое вызывается нежелательным событием.

Анализ последствий должен:

- основываться на выбранных нежелательных событиях;
- описывать любые последствия, являющиеся результатом нежелательных событий;
- учитывать существующие меры, направленные на смягчение последствий, вкупе со всеми соответствующими условиями, оказывающими влияние на последствия;
- устанавливать критерии, используемые для полной идентификации последствий;
- рассматривать и учитывать как немедленные последствия, так и те, которые могут проявиться по прошествии определенного периода времени, если это не противоречит сфере распространения исследований;
- рассматривать и учитывать вторичные последствия, распространяющиеся на смежное оборудование и системы.

Слайд 118

Риск должен выражаться в наиболее подходящих показателях. Некоторыми часто используемыми результатами вычислений являются:

- прогнозируемая частота смертности или заболеваемости применительно к отдельному человеку – индивидуальный риск;
- диаграммы частоты отказов в зависимости от последствия для социального риска;
- статистически ожидаемый размер потерь от возникновения аварий, экономических затрат или урона для окружающей среды;
- распределение риска в соответствии с уровнем ущерба, представленное в виде графика и указывающее уровни равного ущерба.

Необходимо также установить, отражает ли полученная оценка риска уровень общего риска или является лишь его частью.

При расчете риска необходимо учитывать как продолжительность нежелательного события, так и вероятность того, что его воздействию будут подвергаться люди.

Данные, используемые для расчета уровней риска, должны соответствовать конкретному виду применения. Такого рода данные, по возможности, должны основываться на конкретных анализируемых обстоятельствах. Если таковые отсутствуют, должны использоваться данные общего порядка, являющиеся характерными и представительными для конкретной ситуации, либо должна использоваться пользующаяся доверием экспертная оценка.

Данные должны собираться и группироваться в такой форме, которая способствовала бы удобному поиску информации при анализе риска. Устаревшие данные о современном состоянии системы должны быть выявлены и исключены из информации, используемой при анализе.

Слайд 119

Существует множество неопределенностей, связанных с оценкой риска. Понимание неопределенностей и вызывающих их причин необходимо для

эффективной интерпретации значений риска. Анализ неопределенностей, связанных с используемыми данными, методами и моделями, применяемыми для оценки ожидаемого риска, играет существенную роль. Он предусматривает определение изменений и неточностей в результатах моделирования, которые являются следствием отклонения параметров и предположений, применяемых при построении модели. Областью, тесно связанной с анализом неопределенностей, является анализ чувствительности. Он подразумевает определение изменений в реакции модели на отклонения отдельных параметров модели.

Оценка неопределенности состоит из преобразования неопределенности критических параметров модели в неопределенность результатов в соответствии с моделью риска. Требования к полноте и точности оценки риска должны быть сформулированы настолько полно, насколько это возможно. Там, где это возможно, должны быть выявлены источники неопределенности. Это относится как к неопределенностям данных, так и к неопределенностям модели. Должны быть точно определены те параметры, к которым чувствителен анализ.

Обратимся к процессу проверки анализа.

Проверка анализа должна осуществляться сторонними экспертами, не привлеченными к участию в анализе. Проверки могут проводиться как внутренними силами, так и с помощью сторонних организаций.

Слайд 120

Проверка должна включать следующие этапы:

- проверку соответствия области применения поставленным задачам;
- проверку всех важных допущений для обеспечения уверенности в том, что они являются правдоподобными в условиях имеющейся информации;
- подтверждение аналитиком правильности использованных методов, моделей и данных;

- проверку результатов анализа на повторяемость с привлечением персонала, не участвующего в выполнении анализа;
- проверку результатов анализа на устойчивость по отношению к различным форматам данных.

При наличии соответствующей возможности рекомендуется сопоставлять результаты анализа с наблюдениями.

Рассмотрим процесс документального обоснования анализа рынка.

Отчет об анализе риска документально обосновывает процесс анализа риска и должен включать либо план анализа риска, либо ссылки на него и результаты оценки опасности. Техническая информация, представленная в отчете, является важной частью процесса анализа риска. Оценки риска должны быть представлены в доступной форме. В отчете должны быть разъяснены преимущества и ограничения используемых критериев риска. Пояснения относительно неопределенностей, соответствующих риску, должны быть изложены на языке, понятном предполагаемому читателю.

Размер отчета зависит от целей и области применения анализа риска. В отчете, за исключением отчетов по очень простым видам анализа, должна быть отражена следующая информация:

- краткое изложение хода анализа;
- выводы;
- цели и область применения анализа;
- ограничения, допущения и обоснование предложений;
- описание соответствующих частей системы и другое в соответствии с требованием стандарта.

Слайд 121

Если анализ риска используется для обеспечения непрерывного процесса управления риском, его необходимо выполнять, одновременно документировать. Причем документировать таким образом, чтобы он мог корректироваться

на протяжении всего жизненного цикла системы, оборудования или деятельности. Анализ должен обновляться по мере поступления новой информации и в соответствии с потребностями процесса управления.

В тех случаях, когда это необходимо, для обеспечения эффективности и строгого соблюдения требований настоящего стандарта может проводиться аудит процесса анализа риска. Аудит должен проводиться лицами, непосредственно не привлекаемыми к участию в выполнении конкретного анализа риска. При этом должны применяться соответствующие процессы и процедуры обеспечения качества.

Рассмотрим наиболее распространенные методы для проведения анализа технологических систем, которые применимы к идентификации опасности и оцениванию риска, а также критерии для их выбора.

Метод анализа риска должен соответствовать требованиям, указанным на слайде. Должно быть представлено обоснование по выбору метода с точки зрения его уместности и пригодности. В случае сомнений в уместности и пригодности метода необходимо провести сравнение его результатов с результатами альтернативных методов. При этом результаты вычислений должны быть сопоставимыми.

Слайд 122

Как только принято решение о проведении анализа риска, определены цели и область применения, должен быть определен метод или методы анализа, исходя из приемлемости факторов, таких, как:

- стадия разработки системы. На ранней стадии развития системы могут применяться менее детализированные методы. Они должны совершенствоваться по мере увеличения объема информации;
- задачи анализа. Цели и задачи анализа должны иметь прямое отношение к используемым методам. Например, в том случае, если предпринимается сопоставительное исследование различных вариантов, может оказаться прием-

лемым использование довольно грубых моделей последствий для частей системы, не подверженных изменениям;

- типы анализируемой системы и опасности;
- уровень детализации потенциальной опасности. Решение относительно глубины проведения анализа должно отражать первоначальное восприятие последствий.

Кроме того, необходимо учитывать следующие факторы:

- требования к людским ресурсам, степени компетентности персонала и другим необходимым ресурсам. Простой, детально разработанный метод обеспечит лучшие результаты по сравнению с более усложненной процедурой, которая разработана недостаточно глубоко;
- наличие и доступность информации и данных о системе;
- потребность в модификации и актуализации результатов анализа. По отношению к анализу в будущем может потребоваться его модификация и актуализация. Некоторые методы в большей степени поддаются улучшению, чем другие;
- любые правовые требования и требования контракта.

Слайд 123

Перечень наиболее распространенных методов представлен в стандарте. Иногда может оказаться необходимым использование более одного метода анализа.

Идентификация опасности предполагает систематическую проверку исследуемой системы с целью идентификации типа присутствующих неустрашимых опасностей и способов их проявления. Статистические записи аварий и опыт предшествующих анализов риска могут обеспечить полезный вклад в процесс идентификации опасности. Следует признать, во мнениях об опасностях присутствует элемент субъективизма и что идентифицированные опасности не всегда могут быть в исчерпывающей мере именно теми опасностями,

которые могли бы представлять угрозу для системы. Необходимо, чтобы идентифицированные опасности подвергались пересмотру при поступлении новых данных. Методы идентификации опасности в широком смысле делятся на три категории:

- сопоставительные методы, примерами которых являются ведомости проверок, индексы опасностей и обзор данных эксплуатации;
- фундаментальные методы, которые построены таким образом, чтобы стимулировать группу исследователей к использованию прогноза в сочетании с их знаниями путем постановки ряда вопросов типа: «А что, если?». Примерами данного типа методологии являются исследования опасности и связанных с ней проблем, а также анализ видов и последствий отказов;
- способы индуктивного подхода, такие как логические диаграммы возможных последствий данного события, например, логические диаграммы «дерева событий».

С целью усовершенствования идентификации опасности и возможностей оценки риска применительно к определенным проблемам могут использоваться другие приемы. Например, анализ скрытых отказов, метод Делфи и анализ влияния человеческого фактора.

Слайд 124

Независимо от применяемых приемов, важно, чтобы в общем процессе идентификации опасности должное внимание было уделено тому, что человеческие и организационные ошибки являются существенными факторами во многих авариях. Отсюда следует, что сценарии аварий, предусматривающие человеческую и организационную ошибку, также должны быть включены в процесс идентификации опасности, который не должен быть направлен исключительно на технические аспекты.

На практике идентификация опасности, исходящей от конкретной системы, оборудования или деятельности, может давать в качестве результата очень большое число сценариев потенциальных аварий. Детализированный

количественный анализ частот и последствий не всегда осуществим. В таких ситуациях может оказаться целесообразным качественное ранжирование сценариев, помещенные их в матрицы риска, указывающие различные уровни риска. Количественное определение концентрируется в таком случае на сценариях, дающих более высокие уровни риска.

Имеется множество матриц анализа риска, но выбор наиболее подходящей для конкретного анализа матрицы зависит от особенностей конкретного случая. Форма используемой матрицы должна фиксироваться в отчете вместе с оцениваемыми позициями всех рассматриваемых сценариев аварий независимо от того, подвергаются ли они в дальнейшем подробному количественному анализу или нет.

Количественный анализ риска, как правило, требует оценок как частоты или вероятности нежелательного события, так и ассоциирующегося с ним последствия с целью установления меры риска. В некоторых же случаях, когда расчеты показывают, что последствия риска должны быть незначительными или частота их должна быть чрезвычайно низка, достаточно оценки единственного параметра.

Слайд 125

Целью анализа частот риска является определение частоты каждого из нежелательных событий или сценариев аварий, выявленных на стадии идентификации опасности. В этом случае обычно используются три основных подхода.

Первый подход – использование соответствующих данных эксплуатации с целью определения частоты, с которой данные события происходили в прошлом, и, исходя из этого, определение оценок частоты, с которой они произойдут в будущем. Используемые данные должны соответствовать типу системы, оборудования или деятельности, подлежащих рассмотрению.

Второй подход – прогнозирование частот событий с использованием анализа диаграммы всех возможных последствий несрабатывания или аварии

системы – «деревя неисправностей». А также анализа диаграммы возможных последствий данного события – «деревя событий». В том случае, когда статистические данные недоступны или не соответствуют требованиям, необходимо получить частоты событий посредством анализа системы и ее аварийных состояний. Числовые данные для соответствующих событий, в том числе данные о неисправности оборудования и ошибке человека, взятые из опыта эксплуатации или опубликованных данных, используются для определения оценки частоты нежелательных событий. При использовании методов прогнозирования важно обеспечить уверенность в том, что при анализе была учтена возможность нарушений режима работы системы. А также ее частей или компонентов, которые должны функционировать в случае возникновения отказов системы. При проведении анализа частот могут использоваться методы имитационного моделирования отказов оборудования и разрушений конструкции вследствие старения, а также других деградиационных процессов.

Третий подход – использование мнения экспертов. Существует ряд методов для составления экспертного мнения, которые исключают двусмысленность оценок, помогают в постановке соответствующих вопросов. Экспертные оценки должны учитывать всю имеющуюся информацию, в том числе статистическую, экспериментальную, конструктивную и так далее. В этом случае возможно использование метода Делфи, парных сопоставлений, классификации групп риска и другие.

Слайд 126

Анализ последствий предусматривает определение результатов воздействия на людей, имущество или окружающую среду в случае наступления нежелательного события. Для расчетов рисков, касающихся безопасности, анализ последствий представляет собой приблизительное определение количества людей, которые могут быть убиты, ранены или получить серьезные поражения.

Нежелательные события обычно состоят из таких ситуаций, как выброс токсичных материалов, пожары, взрывы, излучение частиц из разрушающегося оборудования и так далее. Модели последствий требуются для прогнозирования размера аварий, катастроф и других явлений. Знание механизма высвобождения энергии или материала и происходящих с ними последующих процессов дает возможность прогнозировать соответствующие физические процессы заранее.

Существует множество методов оценки такого рода явлений, диапазон которых простирается от упрощенных аналитических подходов до очень сложных компьютерных моделей. При использовании методов моделирования необходимо обеспечить соответствие той проблеме, которая подлежит рассмотрению.