

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

Диагностика и надежность автоматизированных систем

Электронный образовательный контент
в системе дистанционного обучения Moodle

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование образовательной деятельности» Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка образовательных контентов в рамках мастер-класса по внедрению и использованию СЭДО в реальном учебном процессе»
Соглашение № 1/27 от 03.06.2013 г.

САМАРА
2013

УДК 004.9(075)
ББК 39.965я7
Д44

Автор-составитель: **Алексеев Алексей Владимирович**

Диагностика и надежность автоматизированных систем [Электронный ресурс] :
электронный образоват. контент в системе дистанц. обучения Moodle / М-во образования и науки РФ, Самар. гос.
аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); авт.-сост. А. В. Алексеев. - Электрон. текстовые и граф. дан. -
Самара, 2013. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

В состав научно-образовательного модуля входят:

1. Курс лекций.
2. Задания для лабораторных работ и примеры их выполнения.
3. Тесты для итогового контроля знаний.

Электронный образовательный контент предназначен для студентов факультета летательных аппаратов,
обучающихся по специальности 220305.65 «Автоматизированное управление жизненным циклом продукции» и
направлению подготовки бакалавров 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и производств»,
изучающих дисциплину «Диагностика и надежность автоматизированных систем» в 9 и 7 семестрах соответственно.
Контент разработан на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов.

Лекция № 1

Теория надежности

Теория надежности - научная дисциплина, изучающая общие закономерности, которых следует придерживаться при проектировании, испытаниях, изготовлении, приемке и эксплуатации, систем для получения максимальной эффективности их использования. В свою очередь эксплуатацию системы составляет совокупность различных фаз существования ее, начиная с транспортировки, хранения и кончая подготовкой к использованию по назначению, собственно использованием, а также техническим обслуживанием и ремонтами. Наконец, эффективность использования есть мера выполнения системой определенных функций при определенных условиях окружающей среды. Таким образом, теория надежности охватывает весьма широкий круг вопросов, связанных с решением большинства технических задач, от их постановки, т.е. разработки условий и требований, предъявляемых к проектируемым системам, до построения этих систем, организации их эксплуатационного обслуживания.

Теория надежности есть наука, изучающая закономерности возникновения отказов технических устройств.

Отказы относятся к малоизученным явлениям. Это объясняется, прежде всего, тем, что время возникновения отказа зависит от большого числа случайных факторов, его трудно исследовать и ещё труднее измерить. Время возникновения отказа или время работы системы между отказами представляют собой явления случайные. Наблюдая за внешними проявлениями отказов, можно видеть, что они приводят к различным последствиям — полное прекращение работы системы, ухудшение ее характеристик, временное прекращение работы с последующим восстановлением (сбой) и т.п. Эти состояния системы аналогичны смерти, болезни или временной потере работоспособности живого организма.

Случайность времени отказов связана со случайными изменениями: условий эксплуатации (нестабильность питающего напряжения; вариации климатических условий; различие в квалификации обслуживающего персонала), технологического процесса (различные качества материалов усталость обслуживающего персонала), условий транспортировки и т. п. Отказавшая система обычно восстанавливается, так как ее отказы могут возникнуть из-за отказов элементов различного типа, расположенных в

различных местах сложной системы, время восстановления также является случайной величиной.

При изучении закономерностей отказов наибольший интерес представляет изучение места возникновения отказов и в особенности промежутков времени восстановления и работы системы между отказами.

Следует при этом иметь в виду, что теория надежности является самостоятельной наукой, а не отдельным разделом теории вероятностей. Она является технической, а не математической дисциплиной, а круг решаемых ею задач не ограничивается задачами теории вероятностей.

Теория надежности возникла из потребностей практики в связи с бурным техническим прогрессом и в первую очередь в связи с появлением сложных автоматических систем с большим числом элементов электроники и автоматики.

Теория надежности изучает:

- критерии и количественные характеристики надежности;
- методы анализа надежности;
- методы повышения надежности;
- методы синтеза сложных систем по критериям надежности;
- методы испытания системы на надежность;
- научные методы эксплуатации системы с учетом ее надежности.

С точки зрения теории надежности, все современные автоматизированные системы управления можно разделить на два класса: системы малого масштаба и системы большого масштаба.

Системы малого масштаба предназначены для управления локальными объектами и процессами. Они обычно обладают малым количеством подсистем и простыми связями между ними.

Системы большого масштаба образуются из блоков подсистем и локальных объектов, управление которыми осуществляется с помощью иерархической структуры. В системы большого масштаба могут быть объединены территориально - разобщенные объекты. В системах управления возможна работа человека-оператора.

Исходные данные, которыми располагает проектировщик системы управления, весьма ограничены. Обычно это результаты кратковременных испытания новых узлов в лабораторных условиях, а также статистические данные о надежности подобных устройств в условии эксплуатации (рис. 1), которые часто отличаются от тех, для которых предназначается разрабатываемая система.

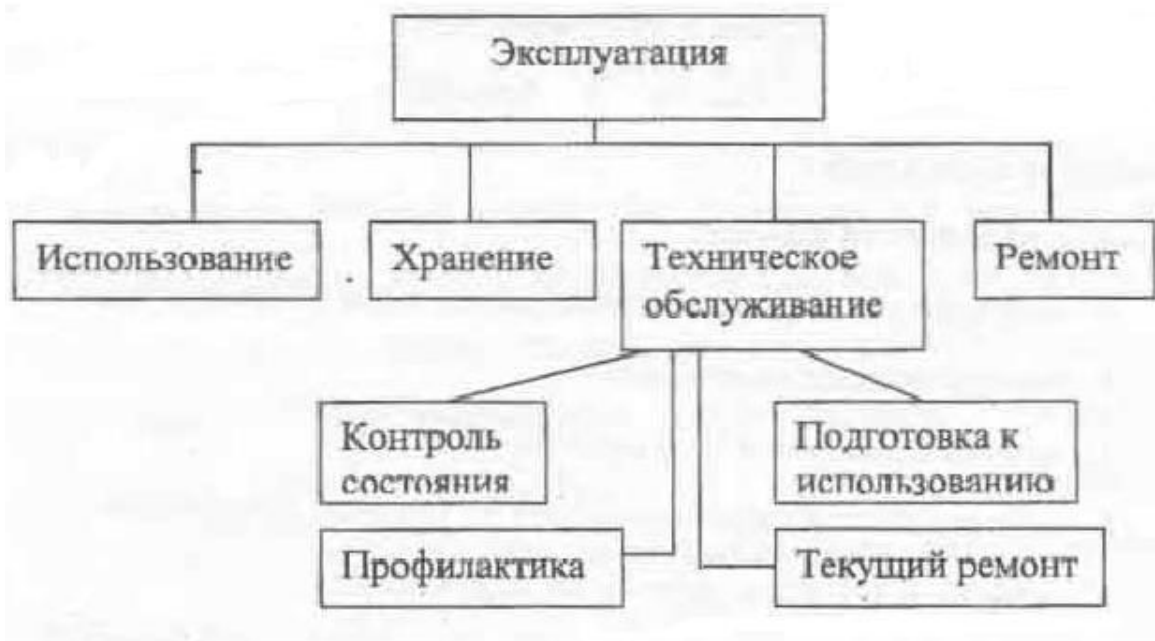


Рис.1 Общая схема эксплуатации системы

Несмотря на это, расчеты надежности следует начинать на самых ранних этапах разработки новых систем и средств автоматизации, начиная с этапа планирования и разработки технического задания. Это значительно уменьшает стоимость новых систем и средств автоматизации. Таким образом, исследования по теории надежности должны быть подчинены одной цели - разработке действенных методов повышения и сохранения надежности при проектировании, изготовлении и эксплуатации.

Надёжность

Под надежностью и безопасностью автоматизированной системы управления понимается ее защищенность от случайных или преднамеренных вмешательств в нормальный процесс ее функционирования, выражающийся в хищении или изменении информации (программная надежность), а также в нарушении ее работоспособности из-за отказов (аппаратная надежность).

Аппаратная надежность технических средств автоматизированных систем управления определяется свойствами, включающими в себя понятия безотказность, работоспособность, долговечность и сохраняемость.

Под программной надежностью и безопасностью автоматизированной системы управления понимается ее защищенность от случайных или преднамеренных вмешательств в нормальный процесс ее функционирования, выражающийся в хищении или изменении информации

Экономическая эффективность автоматизированной системы управления определяется уровнем ее аппаратной и программной надежности.

Снижение надежности приводит как вынужденным простоям, так и к аварийным ситуациям. Повышение надежности увеличивает стоимость системы и затраты на ее эксплуатацию.

Экономически целесообразный уровень надежности выбирается сравнением схожих по структуре и функциям вариантов (критерий оптимизации надежности).

Под автоматизированными системами управления (АСУ) понимается определенное количество компьютеров, промышленных контроллеров, устройств числового программного управления станками и промышленными роботами, устройств управления транспортными средствами и другими технологическими установками, объединенных локальными вычислительными сетями и обеспечивающих сбор, обработку, хранение и передачу управляющей информации.

Под надежностью и безопасностью АСУ понимается ее защищенность от случайных или преднамеренных вмешательств в нормальный процесс ее функционирования, выражающийся в хищении или изменении информации, а также в нарушении ее работоспособности.

Случайные вмешательства:

- аварийные ситуации из-за стихийных бедствий или отключения электрического питания;
- отказы или сбои в работе электрических схем;
- ошибки в программировании;
- ошибки в работе обслуживающего персонала.

Преднамеренные вмешательства - это целенаправленные действия нарушителей.

Хищения связаны с разглашением конфиденциальной или секретной информации.

Изменение информации обусловлено ее искажением или уничтожением.

Нарушение работоспособности зависит либо от снижения производительности или функциональных возможностей, либо от блокировки доступа к некоторым информационным ресурсам АСУ.

Надежность технических средств системы определяется свойствами, включающими в себя понятия безотказность, работоспособность, долговечность и сохраняемость.

Безотказность – свойство системы сохранять свою работоспособность без вынужденных перерывов в течение некоторого периода времени, оцениваемого наработкой (длительность и объем выполненной работы до первого отказа).

Под работоспособностью понимается такое состояние системы, при котором она нормально выполняет заданные функции с заданными технической документацией параметрами.

Приспособленность системы к предупреждению, обнаружению и ликвидации отказов называется ремонтпригодностью.

Долговечность – свойство системы к длительной эксплуатации при необходимом техническом обслуживании и ремонте.

Долговечность системы измеряется ее ресурсом (наработка до предельного состояния) и сроком службы (календарная продолжительность эксплуатации до предельного состояния).

Предельное состояние системы определяется невозможностью ее дальнейшей эксплуатации по ряду причин:

- произошел отказ, после которого восстановление невозможно или нецелесообразно;
- по соображениям безопасности;
- из-за низкой экономической эффективности дальнейшего использования.

Под ремонтпригодностью понимается приспособленность системы к предупреждению, обнаружению и ликвидации отказов.

Ремонтпригодность характеризуется затратами времени и средств на восстановление системы после отказа и на поддержание системы в работоспособном состоянии.

Автоматизированные системы (АС) могут быть ремонтируемыми и неремонтируемыми.

Ремонтируемые системы имеют срок службы (ресурс), определяемый снижением эффективности работы системы и целесообразностью ее дальнейшей эксплуатации.

Неремонтируемыми являются системы, ремонт которых не возможен или не предусмотрен нормативно-технической, ремонтной или проектной документацией.

Под сохраняемостью понимается свойство системы (и составляющих ее элементов) сохранять свои параметры неизменными при определенных условиях (колебаниях температуры, действии влажности, вибрациях и т.п.) и сроках хранения и транспортировки.

Проблема надежности

Прогресс современной техники, расширение круга задач, возложенных на системы управления, высокие требования к точности, помехозащищенности, быстрдействию привели к усложнению систем, предназначенных для выполнения комплекса задач. Но усложнение системы резко снижает надежность современного управления.

Ненадежность не только резко снижает – эффективность использования системы, но и приводит к огромным экономическим потерям, неоправданному повышению стоимости и эксплуатации. Усложнение аппаратуры резко снижает надежность современного радиоэлектронного оборудования. Низкая надежность приводит к тому, что стоимость эксплуатации такого оборудования в течение одного года превышает в несколько раз стоимость самого оборудования, что приводит к огромным экономическим потерям и резко снижает эффективность использования системы.

Возникновение проблем надежности обусловлено, главным образом, следующими причинами: повышением ответственности функций, выполняемых аппаратурой – так называемой ценой отказа; ростом сложности аппаратуры; отставанием качества элементов от их количественного применения.

Рассмотрим одну из основных проблем надежности, связанную с усложнением технических объектов. Тенденция функционального – структурного усложнения технических объектов (переходом к качественно новым методам, обеспечивающим повышение производительности, быстрдействие, точность и улучшающие другие свойства). Объективной «платой» за качественное совершенствование является возрастание структурной сложности. Практика проектирования показывает, что темпы роста сложности технических систем находятся в противоречии с требованиями по их безотказной работе даже в случае применения современной элементной базы. Дело не только в увеличении количества компонентов, сложность систем повышается за счет развития многофункциональности и объединения традиционных методов и техники с методами и техникой вычислительных комплексов, на которые возлагаются функции обработки и анализа данных для принятия решений по изменению режимов работы системы в целом. Решение задач эффективного управления качеством систем возможно на основе методов теории надежности.

Вторая проблема связана с необходимостью предварительного учета влияния на систему при ее эксплуатации различных факторов объективного характера, параметры которых могут меняться в значительных диапазонах. Возникает задача изучения, нормирования и выработки рекомендаций по нейтрализации их воздействий.

Третья проблема связана с ростом количества элементов используемых в системе. Этот рост требует повышения их качества. Исследования в этом направлении дали следующий результат - увеличение надежности элементов резко отстает от роста сложности системы.

Четвертая проблема - ответственность функций, выполняемых системой. В связи с комплексной автоматизацией производственных процессов на управляющие устройства возлагаются исключительно ответственные задачи, которые должны решаться безотказно в течение всего периода работы системы.

Выполнение системой своих функций в значительной мере зависит от полного или частичного исключения из процесса управления человека-оператора. Исключение оператора вызвано либо скоротечностью процессов, связанных с работой системы, либо ограниченностью физических возможностей человека участвовать в протекающих процессах (например, агрессивная среда в химических процессах).

Трудность обеспечения высокой надежности современной системы вызвана также сложностью условий, в которых она эксплуатируется.

Вопросы надежности системы являются весьма важной экономической проблемой. Эксплуатация сложного и ненадежного оборудования требует больших материальных затрат на содержание высококвалифицированного обслуживающего персонала, на профилактические осмотры и ремонт.

Очевидно, что чем сложнее система, тем труднее обеспечить эксплуатационное обслуживание, тем больше система подвержена расстройке и разрегулировке, тем вероятнее ее выход из строя.

Лекция № 2

Повышение надёжности

Большое влияние на надёжность элементов и систем оказывают конструктивно-производственные факторы и мероприятия, действующие на стадиях проектирования и изготовления системы.

На стадии проектирования повышение надёжности обеспечивается:

- *выбором схемы;*
- *выбором элементов и режимов их работы;*
- *учётом психофизических возможностей операторов;*
- *удобством технического обслуживания и восстановления;*
- *учётом недостатков проектирования, выявленных при испытаниях.*

Процесс проектирования предопределяет величину надёжности системы. Однако реализация этой величины в значительной степени связана с организацией производства.

Мероприятия, связанные с обеспечением надёжности в процессе производства, можно свести в следующие группы:

- *строгое соблюдение и совершенствование технологии производства;*
- *автоматизация производства;*
- *тренировка элементов и систем;*
- *настройка и налаживание систем;*
- *текущий выходной контроль.*

Рассмотрим основные способы повышения надёжности.

- 1) Наиболее рациональными способами повышения надёжности на стадии проектирования является **резервирование и использование систем встроенного автоматического контроля**, предназначенных для сокращения времени устранения неисправностей и прогнозирования отказов, а также для автоматического включения резервных элементов. Однако при выборе схем всегда следует учитывать, что резервирование и применение систем автоматического контроля сопряжено с увеличением веса, габаритов, объёма и стоимости системы.
- 2) **Выбор наиболее надёжных элементов.** Выбор того или иного элемента должен быть связан с анализом технических требований к надёжности. Может оказаться, что предъявляемые требования таковы, что при данном числе элементов и при данных условиях работы системы удовлетворить их можно, выбирая не самые надёжные элементы.
- 3) **Облегчение режимов работы элементов.** Улучшить условия работы элементов можно, во-первых, уменьшая вредное влияние окружающей среды и внешних воздействий и, во-вторых, облегчая электрические режимы работы. Уменьшить вредное влияние окружающей среды и вредных воздействий можно, создавая искусственный климат и демпфируя систему. Облегчить электрические режимы работы элементов можно понижением коэффициентов нагрузки и уменьшением температуры окружающей среды [7].
- 4) **Создание систем с ограниченными последствиями отказов элементов.** Отказы элементов сложной системы не равноценны. Одни отказы приводят к потере работоспособности, другие лишь ухудшают характеристики системы, третьи нарушают контроль человека за работой системы и т.д.
- 5) **Стандартизация и унификация элементов.** Унифицированные и стандартизированные системы всегда более надёжны. Это объясняется тем, что такие системы, как правило, доведены до совершенства на основании богатого опыта эксплуатации.
- 6) **«Тренировка» и отбраковка элементов с внутренними дефектами.** «Тренировкой» элементов достигается сокращение этапа приработки, характеризующегося повышением интенсивностью отказов. Элементы с внутренними дефектами часто отбраковывают при тяжелых условиях работы. Время и режимы «тренировки» должны выбираться таким образом, чтобы полностью удалить слабые элементы и вместе с тем не ухудшать качества нормальных элементов.
- 7) **Организация текущего и выходного контроля.** Текущий контроль обычно производится на различных стадиях сборки и наладки системы. Качество этого контроля оказывает существенное влияние на надёжность системы. Методика текущего (промежуточного) контроля разрабатывается применительно к конкретным образцам системы. Обычно предусматриваются контрольные операции после окончания монтажа, после настройки и налаживания отдельных узлов системы.

- 8) **Выходной контроль элементов, поступающих со смежных предприятий.** При их производстве могут быть допущены отклонения от заданной технологии производства, а, следовательно, отклонения характеристик от номинальных значений.
- 9) **Правильный выбор изоляционных материалов.** Они должны выдерживать механические и электрические нагрузки во всех диапазонах эксплуатационных условий. При выборе материалов необходимо учитывать как конструктивные, так и производственно-экономические факторы. Используемые материалы должны иметь такую скорость старения, при которой будет обеспечен необходимый технический ресурс системы и необходимый срок её хранения.
- 10) **Удобство технического обслуживания и восстановления.** Важным эксплуатационным требованием к системе является удобство технического обслуживания и восстановления. Поэтому при конструировании должны предусматриваться:
- встроенные датчики, позволяющие проверить параметры системы;
 - комплекс удобной, лёгкой и достаточно точной измерительной аппаратуры;
 - лёгкий и свободный доступ к элементам системы, исключающий повреждение других элементов при замене отказавших;
 - простота операций при настройке и регулировке системы.
- 11) **Испытания опытных образцов.** Целью испытания опытных образцов является слабых с точки зрения надёжности элементов системы, недостаточная надёжность которых обусловлена ошибками проектирования.

Отказ

Отказ - это событие, после появления которого, выходные характеристики системы выходят за допустимые пределы. Отказ - частичная или полная утрата свойств, которая существенным образом снижает или приводит к полной потере работоспособности системы. В то же время *механизмом отказа* - является совокупность физических и (или) химических процессов, приводящих к возникновению отказа.

Из этого определения следует, что отказ может наступать не только при механических или электрических повреждениях элементов (обрывы, короткие замыкания), но и при нарушении регулировки, из-за ухода параметров элементов за допустимые пределы и т.п.

Формулировка отказа для конкретного технического объекта является в известной мере одной из субъективных и важнейших задач при расчете надежности.

Критерий отказа - признак или совокупность признаков работоспособного состояния объекта, установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской документации. В основу классификации отказов может быть положено ряд признаков. *Признак отказа* - это изменение объекта, обусловленное возникновением отказа и оказывающее непосредственное или косвенное воздействие на органы чувств наблюдателя. Наряду с различными видами отказов существуют и *модели отказов* - т.е. математическое описание физических или химических процессов, составляющих механизм отказа. Часто в надежности встречается понятие «*производственный отказ*», оно означает - отказ, возникший в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта, выполнявшегося на ремонтном предприятии.

В табл. 1 представлена классификация отказов.

Таблица 1 Классификация отказов

№	Классификационные признаки	Виды отказов
1	По возможности прогнозирования места возникновения	Закономерные Случайные
2	По взаимосвязи между собой	Независимые Зависимые
3	По характеру процесса возникновения	Внезапные Постепенные
4	По времени существования	Окончательные Временные Перебегающие
5	По причинам возникновения	Конструктивные Технологические Эксплуатационные

6	По физическим признакам	Обрыв Перегрузка Уход параметров за пределы установленных норм ТУ
7	По. объему и характеру восстанов - ления	Расстройки Повреждения Аварии

Моменты возникновения откатов в сложной системе обычно являются событиями случайными. Однако место их возникновения удается иногда предсказать заранее. Это возможно в тех случаях, когда систематически наступает механический или электрический износ одного и того же элемента (или узла) во многих однотипных системах. Подобные отказы иногда называют *закономерными* в противоположность отказам *случайным*, место и моменты возникновения которых заранее предсказать затруднительно.

Систематические отказы одних и тех же элементов наиболее часто наблюдаются в начале эксплуатации первых образцов системы и возникают вследствие конструктивных или технологических ошибок. В дальнейшем аппаратура усовершенствуется и подобные отказы не возникают.

Отказы как случайные события, могут быть *независимыми* и *зависимыми*. Если отказ какого либо элемента в системе не приводит к отказу других элементов, то такой отказ называется *независимым*. Отказ, появившийся в результате отказа других элементов, называется *зависимым*.

В большинстве случаев механические или электрические повреждения элементов наступают мгновенно, внезапно и приводят к потере работоспособности либо самого элемента, либо всей аппаратуры. Такие отказы называют мгновенными или *внезапными*. Длительное постепенное изменение параметров элементов по причине старения материалов в большинстве случаев приводит лишь к ухудшению выходных характеристик аппаратуры при сохранении ее работоспособности. Такие отказы называют *постепенными*.

Отказы бывают также *окончательные, временные и перемежающиеся*.

При *окончательном отказе* аппаратура либо становится неработоспособной, либо ее характеристики выходят за допустимые пределы на все время, пока не будет устранен отказ.

Временные отказы могут самопроизвольно исчезать без вмешательства обслуживающего персонала после устранения вызвавшей их причины.

Перемежающийся отказ продолжается короткое время, затем система самовосстанавливается и работает надежно.

По причинам возникновения отказов можно выделить: конструктивные, технологические и эксплуатационные.

Конструктивные - возникающие в результате несовершенства правил и норм конструирования.

Технологические - возникающие в результате несовершенства или нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта, выполненного на ремонтном предприятии.

Эксплуатационные - возникающие в результате нарушения правил или условий эксплуатации.

По физическим признакам проявления различают отказы типа: *обрыв, перегрузка, уход параметров за пределы установленных норм ТУ*. Первые два вида отказов приводят, как правило, к полному прекращению функционирования системы, причем перегрузки могут вызывать цепь негативных последствий, изменение параметров определяет состояние скрытой неработоспособности, что приводит в конечном итоге к срыву решаемой задачи.

Расстройки, повреждения и аварии отличаются друг от друга объемом и характером ремонта.

Расстройкой называется нарушение нормального режима работы из-за неправильной установки органов регулировки при полностью исправных элементах системы; для их устранения достаточно лишь произвести подстройку.

К *повреждениям* относятся отказы, вызванные необратимыми изменениями параметров элементов, для устранения которых требуется заменить неисправные элементы.

К *аварийным* относятся отказы, для устранения которых требуется длительное время; они обычно происходят либо вследствие грубых нарушений правил технической эксплуатации, либо из-за производственных недостатков системы.

Отказы приводят к большим материальным затратам и снижению экономической эффективности аппаратуры. Расходы на техническое обслуживание и ремонт могут составлять до 50 % суммарного объема вложений в изготовление аппаратуры.

На рис. 3 представлена диаграмма распределения отказов.

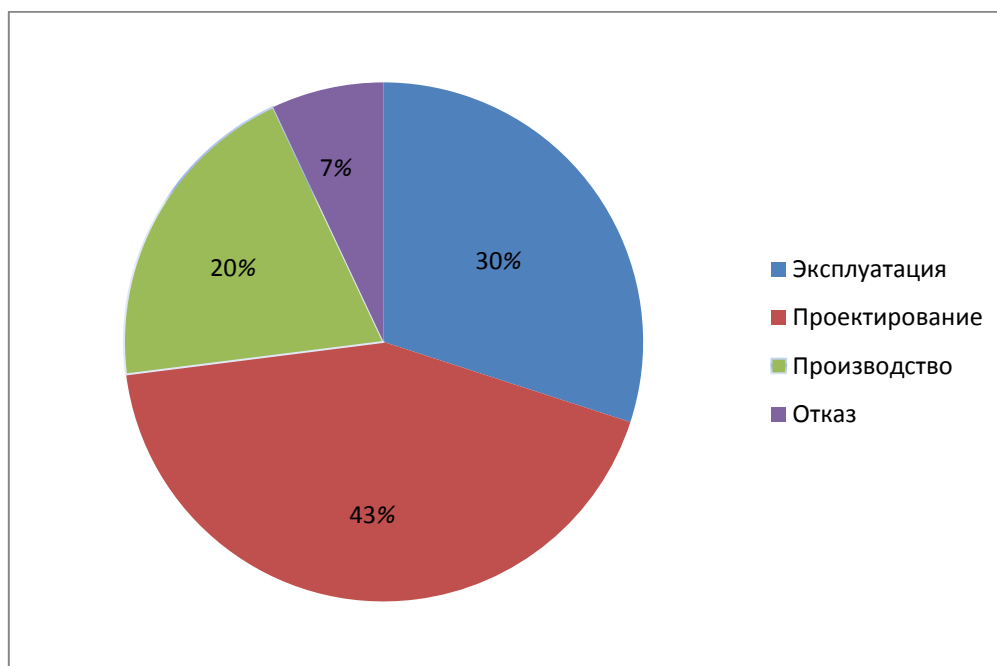


Рис. 3. Диаграмма распределения отказов

В табл. 2 представлены основные причины отказа на различных стадиях жизненного цикла системы. Конечно, данные, приведенные в табл. 2, являются ориентировочными и не могут отображать статистические связи в любых системах.

Таблица 2 Причины отказов системы

Этапы	Причины отказов	Число отказов, %
Проектирование	Схемные	11
	1. Недостатки схемы	

	2. Неправильный выбор электрических величин	10
	3. Неправильное применение элементов	12
Этапы	Причины отказов	Число отказов, %
	Конструктивные	5
	1. Неправильный выбор материала	5
	2. Неправильная механическая конструкция	
Производство	1. Изготовление не в соответствии с техническими условиями	18
	2. Недоброкачественное сырье и полуфабрикаты	2
Эксплуатация	1. Климатические условия и механические нагрузки, не соответствующие, заданным	12 18
	2. Неправильное обслуживание и неправильный режим эксплуатации	
Причины, которые могут быть отнесены к любому из предыдущих этапов	Износ, старение и т.д.	7

Сбор сведений об отказах объектов может проводиться либо персоналом, непосредственно занимающимся техническим обслуживанием, либо представителями службы надежности. В последнем случае достоверность и полнота информации повышаются. В любом случае необходимы мероприятия по проверке заполнения первичных документов и стимулированию правильности записей в них.

Основными первичными документами об отказах объектов являются журналы, формуляры и карточки отказов. При большом числе элементов в системе, находящихся под наблюдением, удобно вести журнал. Преимущество журналов состоит в их компактности, простоте регулярного контроля и привычности для эксплуатационного персонала.

Формуляры ведутся на каждый технический объект и поэтому содержат информацию об объекте с начала его эксплуатации (сведения об отказах, восстановлении, профилактике, доработке и т.п.).

Карточки отказов, представляющие собой бланки с вопросами, на которые надо дать ответ, заполняются при каждом отказе объекта. В карточки отказов вносятся следующие сведения:

1. номер карточки;
2. тип и серийный номер системы;
3. длительность работы до появления отказа;
4. условия работы (испытания) при которых появился отказ;
5. внешние признаки неисправности (отказа);
6. местоположение, тип и серийный номер отказавшего элемента;
7. вероятная причина появления отказа;
8. требуемый ремонт;
9. трудозатраты на ремонт;
10. дата и подписи лица, заполнявшего карточку, и начальника, проверившего правильность сведений.

Кроме этих сведений на карточках отказов записывается и другая информация, характерная для исследуемой системы.

Сбор сведений об отказах является весьма ответственным этапом исследования надежности элементов и систем. Необходимо всегда уметь выделить причину отказа.

Вся информация об отказах хранится в памяти компьютера и на машинных носителях. При накоплении данных вычисляются и уточняются значения показателей надежности.

Более консервативной формой представления сведений об отказах являются периодические отчеты об эксплуатации определенного количества однотипных систем (элементов). Обычно эти сведения оформляются в виде таблиц (ведомостей) отказов.

Лекция № 3

Второстепенные неисправности

Второстепенные неисправности подразделяются на дефекты и неполадки.

Дефектами называются неисправности, которые в момент их обнаружения не приводят к повреждению или нарушению регулировки прибора, но могут в будущем вызывать подобные явления. Примеры дефектов: повреждение изоляции, царапины на защитных покрытиях, загрязнение смазки и др.

Неполадками называются неисправности в работе прибора, не оказывающие влияния на выполнение им основных функций. Примеры неполадок: выход из строя части зарезервированного устройства, не приводящий к перерыву в выполнении задачи; выход из строя счетчика времени работы прибора; перегорание лампочки освещения шкалы; увеличение шума и др.

Из изложенного выше материала, очевидно, что понятие неисправности является более общим, чем понятие отказ.

Надежность системы

Система имеет весьма широкий обобщающий смысл и включает в себя такие понятия, как деталь, ячейка, узел, блок, механизм, прибор, устройство и другие аналогичные понятия [1].

Ниже приводятся определения этих терминов.

Ячейка – отдельная механическая конструкция, не имеющая самостоятельного функционального назначения.

Узел (блок) – несколько деталей, ячеек, объединенных для выполнения определенной функции, но не имеющих как целое самостоятельного эксплуатационного назначения. Примеры узлов: счетчик циклов, регистр команд, шифратор и дешифратор, сумматор и т.д.

Устройство – соединение деталей, узлов, имеющих самостоятельное эксплуатационное назначение. Например, блок питания, арифметическое устройство и др.

Прибор – группа блоков, имеющая конструктивно-самостоятельное назначение.

Установка – группа приборов.

В теории надежности обычно различают надежность систем и надежность входящих в них элементов.

Система – устройство, состоящее из нескольких установок. Система – это совокупность взаимосвязанных объектов, служащая для самостоятельного выполнения определенной задачи. Принципиально система может быть разбита на любое число элементов, необходимое для расчета ее надежности. Эта деструктуризация должна останавливаться на уровне таких функциональных элементов, для которых могут быть определены показатели надежности. Иногда вместо термина «система» употребляется аналогичный ему по смыслу термин «аппаратура». Для удобства анализа систем их можно проклассифицировать по ряду признаков в соответствии с табл. 3.

Таблица 3 Классификация систем

№ п/п	Классификационные признаки	Вид системы
1	По возможности и целесообразности восстановления	Восстанавливаемые Невосстанавливаемые
2	По состоянию	Работоспособное Неработоспособное Предельное
3	По характеру обслуживания	Обслуживаемые Необслуживаемые
4	По поведению после отказа	Простые Сложные

Все системы можно разделить на две группы : *восстанавливаемые* (после отказов их можно ремонтировать) и *невосстанавливаемые*. Невосстанавливаемая система в случае возникновения отказа не подлежит или не поддается восстановлению либо по экономическим, либо по техническим соображениям. Системы могут быть однократно и многократно использованы.

Различают следующие состояния системы:

- *работоспособное* (РБС) состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять технологическое задание, соответствует требованиям нормативно-технической и конструктивной документации;
- *неработоспособное* (НРБС) состояние, если хотя бы один из параметров не соответствует указанным требованиям;
- *предельное* – состояние системы, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо или нецелесообразно либо восстановление его исправного или работоспособного состояния невозможно, или нецелесообразно.

Динамика возможных состояний системы представлена на рис. 4.

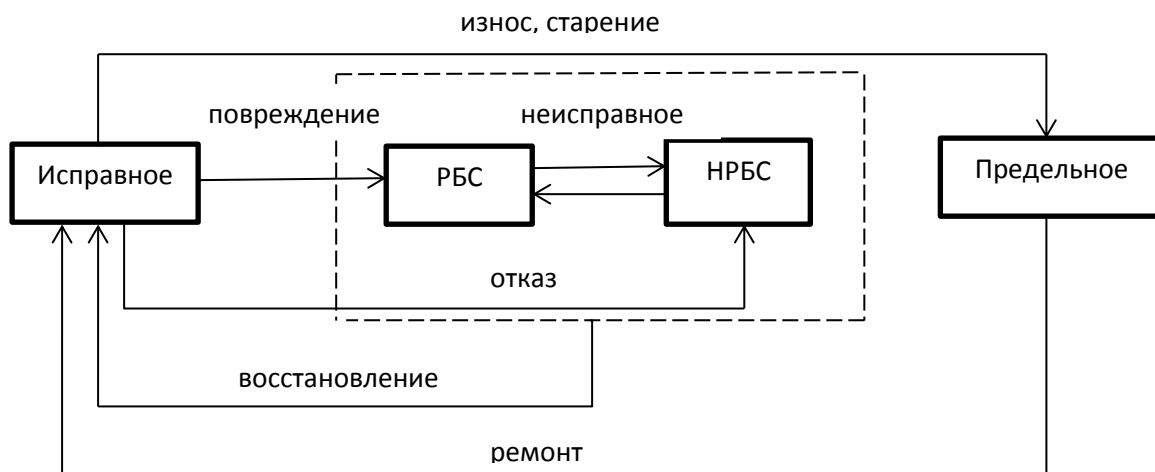


Рис. 4. Динамика возможных состояний системы

По характеру обслуживания системы бывают обслуживаемые и необслуживаемые. Те из них, которые выполняют свои задачи при наличии обслуживающего персонала и обычно приспособлены к устранению отказов во время эксплуатации, относятся к *обслуживаемым* системам.

Необслуживаемые системы выполняют возложенные на них функции без обслуживающего персонала. Эти системы могут быть самовосстанавливаемыми, т.е. приспособленными к самостоятельному устранению отказов без участия обслуживающего персонала, например, за счет автоматического резервирования.

Различают также простые и сложные системы.

Простые системы при отказе элементов либо полностью теряют работоспособность, либо продолжают выполнять свои функции в полном объеме, если отказавший элемент зарезервирован. Такие системы могут находиться только в двух состояниях: рабочем и нерабочем.

Сложные системы обладают способностью при отказе элементов продолжать выполнение своих функций, но с пониженной эффективностью, т.е. они могут находиться в нескольких рабочих состояниях.

К сложным системам обычно относят многоканальные комплексы с разветвленной структурой, состоящие из нескольких самостоятельных, но взаимосвязанных устройств, например автоматизированная система управления. Т.е. сложная система состоит из простых систем, подсистем, устройств, предназначенных для выполнения некоторой эксплуатационной задачи. Когда мы имеем дело со сложной системой, понятие «надежность» приобретает несколько условный характер. Это связано с тем, что элементы сложной системы могут находиться в большом числе состояний, каждое из которых характеризуется определенной надежностью.

Существует целый ряд особенностей испытания сложных систем:

1. Ограниченное число испытываемых объектов (это приводит к снижению вероятности достоверности оценки надежности).
2. Прямые непосредственные испытания на надежность связаны с расходом рабочего ресурса, а часто и с полным разрушением образца.
3. Сложно определить надежность такой системы, поскольку при ее работе возникают сложные процессы.
4. Большая перегруженность различными проверками и испытаниями технологии их производства и обслуживания.
5. Особенность самой технологии изготовления сложной системы. Такая система создается в результате длительного и сложного

технологического процесса, который включает большое число разнообразных проверок и испытаний.

Наряду с вероятностными показателями все большее распространение начинают получать методы и методики детерминистического анализа надежности и безопасности сложных систем. В основе детерминистического анализа лежит стремление получить научно обоснованные сведения о надежности и безопасности системы при отсутствии достоверных вероятностных характеристик исходных событий и элементов исследуемой системы. В качестве примеров известных методов и подходов к детерминистическому анализу можно выделить следующие:

- методы «проверочного листа» и «Что будет, если ... ?», которые относятся к группе наиболее простых методов качественного анализа безопасности;
- методы «Анализа видов и последствий аварий» (АВПО) и «Анализа видов, последствий и критичности аварий» (АВПКО), которые применяются для более детального, глубокого и подробного качественного анализа возможных видов отказов в системе и их последствий;
- логико-графические методы анализа «деревьев отказов и «деревьев событий», которые применяются для выявления комбинаций отказов оборудования, ошибок персонала и нерасчетных внешних воздействий, приводящих к аварийным ситуациям, а также последовательностей событий, характеризующих развитие аварийной ситуации;
- методы анализа отказоустойчивости, позволяющие качественно и (или) количественно оценить их способность продолжать функционировать при достоверном возникновении отказов отдельных и групп элементов исследуемой системы.

Разновидности надежности

Иногда для большей определенности и конкретизации различают следующие разновидности надежности : нормальную, эксплуатационную и техническую.

Под **номинальной надежностью** понимается надежность, достигаемая в результате проектирования и проверяемая в ходе испытаний опытных образцов.

Под **эксплуатационной надежностью** понимается надежность, определяемая в реальных условиях эксплуатации с учетом комплексного воздействия внешних и внутренних факторов, связанных с климатическими и географическими особенностями эксплуатации, реальными режимами работы системы и условиями ее обслуживания. Результаты контроля этого уровня дают информацию, на основании которой принимаются меры по повышению надежности на этапах проектирования и производства.

Под **технической надежностью** понимается надежность, которая формируется с учетом технологических условий производственных процессов и оценивается по результатам контрольных испытаний партий изделий.

Надежность номинальная должна быть больше надежности технической, а та, в свою очередь, должна быть больше эксплуатационной. Эксплуатационная надежность должна быть больше надежности, указанной в техническом задании, поскольку оно обуславливает необходимость обратных информационно-управляющих связей в системе управления качеством.

Лекция № 4

Назначение ремонта

На целлюлозно-бумажных предприятиях, как и в других отраслях промышленности, за основу ремонта принята единая система **планово-предупредительного ремонта** (ППР).

Сущность системы ППР заключается в том, что каждая система наряду с повседневным уходом за ними проходит через определенные промежутки времени плановые профилактические осмотры и различные виды ремонта. Длительность этих промежутков определяется особенностями конструкции системы и ее техническим назначением, условием ее эксплуатации.

Система ППР позволяет решить на предприятиях следующие задачи:

- Поддерживать системы в состоянии, обеспечивающем их нормальное функционирование; предотвращать случаи неожиданного (аварийного) выхода оборудования из строя;
- Снижать расходы на ремонт;
- Увеличивать производительность систем в результате модернизации их в ходе планового ремонта.

Система ППР включает в себя два вида работ: межремонтное обслуживание и периодическое выполнение плановых ремонтных операций, составляющих малый, средний и капитальный ремонты.

Межремонтное обслуживание оборудования представляет собой комплекс текущих работ, которые направлены на поддержание систем в постоянной технической готовности. Это прежде всего наблюдение за состоянием систем, за выполнением обслуживающим персоналом правил эксплуатации, своевременная регулировка и настройка механизмов, устранение мелких неисправностей.

Система ППР предусматривает остановки оборудования в соответствии с графиком и позволяет заранее разрабатывать на предприятии технологию работ по всем видам ремонтов и рационально распределять ремонтных рабочих. За основу планирования ремонтов принимаются годовые графики ремонта технологического оборудования, на основании которых составляются квартальные и месячные графики ремонтов по цехам и видам оборудования.

Виды ремонтов

Планово-Предупредительный Ремонт разделяется по сложности и объему на три основных вида (рис.6):



Рис.6. Виды планово-предупредительного ремонта

При **текущем ремонте** заменяется или восстанавливается небольшое количество изношенных деталей, производится регулировка и настройка механизмов для обеспечения нормальной эксплуатации оборудования до очередного планового ремонта.

Средний ремонт включает в себя замену и восстановление изношенных деталей. Выполняются работы по обеспечению нормальной работы оборудования до очередного среднего или капитального ремонта. При этом выполняются все работы, относящиеся к текущему ремонту. Средние ремонты в зависимости от условий проведения ремонтов и наличия запасных деталей могут проводиться как узловым скоростным, так и индивидуальным методом (замена отдельных деталей). Средний ремонт выполняется в соответствии с ведомостью дефектов и сметой.

Капитальный ремонт – наибольший по объему плановый ремонт, производимый с полной разработкой системы. При этом заменяются все или большинство изношенных деталей и узлов. Ремонтируются несменяемые базовые детали.

Аварийный ремонт выполняется при внезапном выходе оборудования из строя вследствие поломок или по другим причинам. По своему содержанию и объему этот вид ремонта может приближаться к текущему, среднему или капитальному в зависимости от фактических последствий аварии. Следует подчеркнуть, что при хорошей организации планово–предупредительного ремонта применении мер по предупреждению аварий необходимости в аварийных ремонтах не возникает.

Характеристика надёжности

Большинство специалистов по теории надёжности разделяют характеристики надёжности на две группы: качественные и количественные. Количественное определение надёжности не может быть сведено к определению одного только показателя надёжности по тому, что надёжность определяется множеством количественных характеристик и ни одна из них не может в полной мере выражать это понятие. Поэтому таким может быть только качественное определение, характеризующее определенные свойства конкретного изделия. Чаще всего стремятся использовать количественные характеристики, так как качественное определение надёжности не позволяет выразить свойство надёжность математически (числом). Это вызвало необходимость создать основные критерии, с помощью которых можно было бы количественно оценить надёжность различных элементов, дать сравнительную оценку надёжности различных изделий.

Надёжность системы зависит от количества и качества элементов, входящих в систему, от режимов работы элементов, от схемного и конструктивного выполнения. Надёжность элементов сложной системы в свою очередь зависит от технологии изготовления, качества системы, качества материалов и т.п.

К числу широко применяемых критериев надёжности относятся: вероятность безотказной работы за время t , вероятность отказов, среднее время безотказной работы, среднее время между соседними отказами (наработка на отказ), интенсивность отказов (опасность отказов), частота отказов, средняя частота отказов.

Критериями надёжности могут быть также и коэффициенты, характеризующие различные показатели надёжности аппаратуры: коэффициент готовности, коэффициент вынужденного простоя, коэффициент профилактики, коэффициент отказов, относительный коэффициент отказов, коэффициент расхода элементов, коэффициент стоимости эксплуатации.

Критериями надёжности могут быть и различные отношения действительной и идеальной характеристик работы системы. Характеристикой надёжности называют количественное значение критерия надёжности для конкретной детали, узла, системы и т.д. Количественная оценка надёжности позволяет: производить расчет надёжности; сформулировать требования, предъявляемые к надёжности вновь разрабатываемой аппаратуры; рассчитать

предполагаемые ее сроки службы, сроки планового ремонта и профилактических работ.

Избыточность

Избыточность - есть превышение веса, габаритов или стоимости системы по сравнению с минимально необходимыми для заданной структуры. Она связана с обеспечением заданной надежности. Т.е. дополнительные средства и возможности сверхминимально необходимых для выполнения системой заданных функций. Задача введения избыточности обеспечить нормальное функционирование системы после возникновения отказов в ее элементах.

Создание более простой структуры, в особенности, если она получена в результате объединения по какому-либо критерию качества, всегда приводит к ухудшению таких важных показателей, как качество переходного процесса, устойчивость и точность. Следовательно, единственным способом сохранения этих важных характеристик в течение длительного времени является повышение надежности автоматической системы при заданной ее структуре. Для повышения надежности часто приходится или выбирать наиболее качественные элементы, обладающие высокой надежностью, либо облегчать режимы работы элементов, или вводить резервную аппаратуру. Все это требует увеличения стоимости, веса и габаритов аппаратуры и приводит к некоторой избыточности системы по указанным характеристикам.

Разделяют структурную и информационную избыточность.

Структурная избыточность определяется наличием дополнительных путей передачи сигналов (при отказе одного из элементов его функции выполняет другой элемент), которые не востребованы при нормальной работе.

Информационная избыточность определяется наличием в сигнале дополнительной информации, которая не востребована при нормальной работе всех элементов, а лишь при возникновении отказа.

Введение избыточности увеличивает надежность системы за счет повышения безотказности [1].

Повышение ремонтпригодности достигается применением унифицированных блочных конструкций, устройств диагностики и индикации отказов.

Надежность АСУ в основном определяется.

Лекция № 5

Методы резервирования

Резервированием называется способ повышения надежности путем включения резерва предусмотренного при разработке конструкции или в процессе её эксплуатации.

Использование резервирования связано с увеличением веса, объема, стоимости изготовления и эксплуатации объектов. В связи с этим необходимо подобрать оптимальный способ резервирования, который наилучшим образом соответствовал поставленной задаче. Но нельзя ограничиваться учетом стоимости изготовления и эксплуатации резервной системы. Очевидно, что необходимо учитывать и ущерб, вызванный появлением отказов системы. Обычно в этот ущерб входят материальные потери из-за простоев оборудования и в результате снижение производительности.

Классификация резервирования представлена в таблице 4 и в таблице 5.

Расчетно-логической схемой резервирования системы в большинстве случаев является схема, на которой элементы системы имеют параллельно-последовательное соединение.

Имеется два вида резервирования - резервирование системы в целом (**резервирование общее**) (рис. 7) и резервирование системы по элементам (**резервирование раздельное**) (рис. 8).

Резервирование раздельное имеет следующее преимущество - выигрыш в надежности при прочих равных условиях выше, чем при общем резервировании. Резервирование системы по элементам особенно выгодно при большом числе и увеличении кратности резервирования.

Таблица 4 - Классификация по признакам

№ п/п	Классификационные признаки	Виды резервирования
1	По методу	Общее Раздельное

2	По кратности	С целой кратностью С дробной кратностью
3	По способу включения	Постоянное Замещение
4	По виду избыточности	Информационное Структурное Временное Функциональное
5	По режиму работы	Нагруженный Облегченный Ненагруженный
6	По сопротивлению отказу	Активное Пассивное
7	По возможности восстановления	С восстановлением Без восстановления

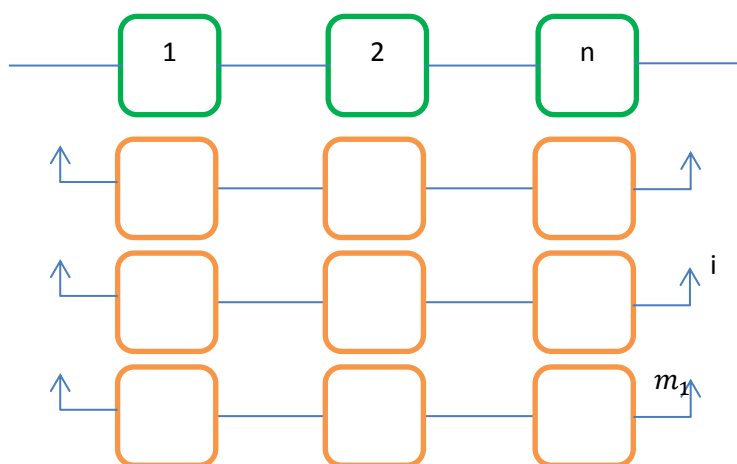


Рисунок 7 - Схема общего резервирования.

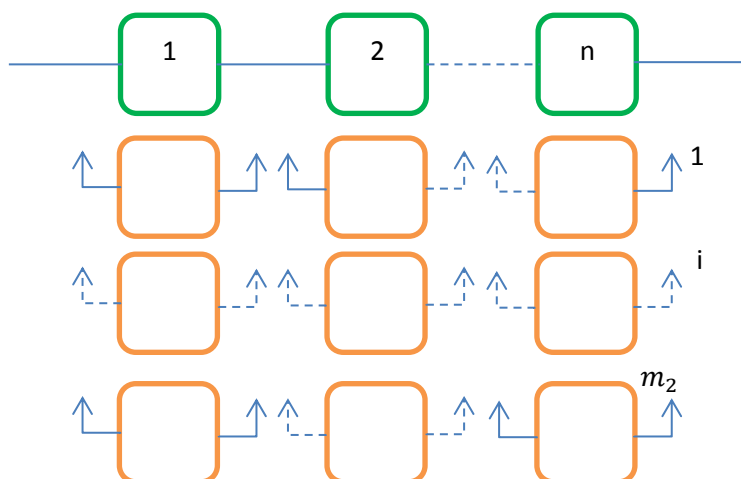


Рисунок 8 - Схема отдельного резервирования

Таблица 5 - Классификация резервирования

Резервирование							
целая кратность				дробная кратность			
общее		различное		общее		различное	
постоянное	замещением	постоянное	замещением	постоянное	замещением	постоянное	замещением
	Нагруженный резерв		Нагруженный резерв		Нагруженный резерв		Нагруженный резерв
	Облегченный резерв		Облегченный резерв		Облегченный резерв		Облегченный резерв
	Ненагруженный резерв		Ненагруженный резерв		Ненагруженный резерв		Ненагруженный резерв

Одной из разновидностей общего является **автономное резервирование**. Оно заключается в использовании нескольких независимых объектов, выполняющих одну и ту же задачу. При этом каждый из этих объектов имеет свой вход и выход и обычно независимые источники питания. Такое резервирование применяется при проведении ответственных экспериментов в

системах ответственного резервирования. Примером автономного резервирования является совокупность устройств телеизмерения, выполняющих одну и ту же задачу, если каждое устройство имеет свои входные датчики, записывающие (выходные) блоки и источники питания.

Под **кратностью резервирования** понимается отношение числа резервных элементов расчета к числу резервируемых - основных.

Резервирование с целой кратностью имеет место, когда один основной элемент резервируется одним и более резервными элементами.

Резервирование с дробной кратностью имеет место, когда два и более однотипных элементов резервируются одним и более резервными элементами. Наиболее распространенным вариантом дробного резервирования является такой, когда число основных элементов превышает число резервных. Примером резервирования с дробной кратностью является система энергоснабжения, обеспечивающая питание некоторой нагрузки от пяти параллельно работающих генераторов при условии, что любой из генераторов может выдержать достаточно долго дополнительную нагрузку в 25% от номинального режима [2].

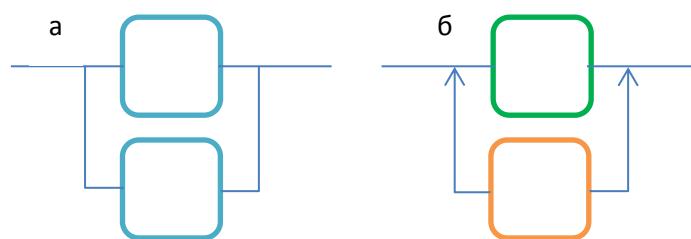
Очевидно, что при отказе любого генератора, четыре оставшихся исправных генератора смогут обеспечить выполнение своих функций, работая с перегрузкой в 25%. Т.е. при расчете надежности такой системы электроснабжения имеет место резервирование с дробной кратностью при $m=1/4$ (для обеспечения надежной работы системы электроснабжения достаточно иметь четыре генератора при одном резервном).

Резервирование, кратность которого равна единице и разные источники энергоснабжения, называется **дублированием**.

Элементы резервирования можно включать на все время эксплуатации или при отказе основных элементов. Существует два способа включения резерва - **постоянное и замещением**.

Резервирование постоянное - резервирование, при котором резервные элементы участвуют в функционировании объекта наравне с основными. Для постоянного резервирования существенно, что в случае отказа основного элемента не требуется специальных устройств для введения в действие резервный элемент, поскольку он вводится в действие одновременно с основным (рис. 9, а).

Резервирование замещением - это такое резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного (рис. 9, б).



Ряс. 9. Резервирование: а - постоянное; б - замещением

Достоинства резервирования при постоянном включении резерву:

- простота, так как в этом случае не требуется никаких переключающих устройств;
- отсутствие перерывов в работе.

Недостатки резервирования при постоянном включении резерва:

- нарушение режима работы резервных элементов при отказе основного элемента.

Достоинства резервирования при включении резерва замещением:

- не нарушает режима работы резерва;
- сохраняет в большей степени надежность резервных элементов, так как при работе основных элементов они находятся в нерабочем состоянии;
- позволяет использовать резервный элемент на несколько рабочих элементов.

Существенный недостаток этого способа включения резерва заключается в необходимости наличия переключающих устройств. При резервировании системы по элементам, число переключающих устройств равно числу основных функциональных элементов, что может значительно понизить надежность всей системы. Поэтому резервировать замещением выгодно только крупные узлы или всю систему, а во всех других случаях - при высокой надежности переключающих устройств.

Также имеется **скользящее резервирование** - это резервирование замещением, при котором группа основных элементов объекта резервируется

одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой отказавший элемент в данной группе (рис. 10).

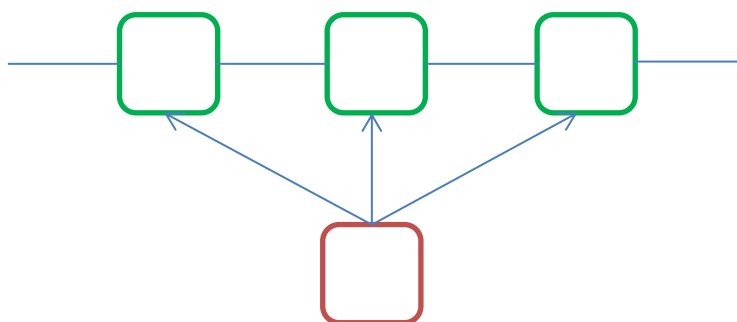


Рисунок 10 - Скользящее резервирование

В зависимости от вида избыточности различают [1], [2]:

1. **Информационное резервирование** предусматривает использование избыточной информации. Использование информационного резервирования влечет за собой необходимость введения избыточных элементов. Пример информационного резервирования, многократная передача одного и того же сообщения по каналу связи.
2. **Структурное резервирование**, предусматривает использование избыточных элементов объекта. В минимально необходимый вариант системы, элементы которой называют основными, вводятся дополнительные элементы, устройства либо даже вместо одной системы предусматривается использование нескольких идентичных систем. Это делается для повышения безотказности систем. При этом эти избыточные резервные структурные элементы имеют единственное назначение - взять на себя выполнение рабочих функций при отказе соответствующих основных элементов.
3. **Временное резервирование** предусматривает использование избыточного времени. Создается за счет повышения производительности аппаратуры, без инерционности его элементов и т.п. Предполагается возможность возобновления прерванного в результате отказа функционирования аппаратуры путем ее восстановления. Например, в автоматических производственных линиях предусматривают накопители

изготавливаемых деталей, что при повышенной производительности оборудования позволяет допускать ограниченные во времени перерывы в работе отдельных звеньев линии без нарушения процесса обработки деталей на отдельных технологических операциях.

4. **Функциональное резервирование** - резервирование с применением функциональных резервов. Такой вид резервирования характерен для многофункциональных систем. Возможны случаи его использования: либо отказ многофункционального элемента позволяет далее использовать его в данном объекте для других целей, либо такой элемент в случае отказа другого элемента данного объекта принимает на себя выполнение функций отказавшего элемента в дополнение к своим основным функциям. Такое резервирование может иметь место при решении системы одной задачи при различных способах функционирования. Например, передача информации различными способами в зависимости от того, какие элементы объекта остались работоспособными.

В некоторых случаях резервирования, при появлении отказа структура объекта перестраивается и объект восстанавливает свою работоспособность. В этом случае объект активно реагирует на появление отказа, следовательно такое резервирование называется **активным**.

В зависимости от режима работы резервных элементов различают:

1. **Нагруженный резерв (горячий)** - резервный элемент находится в том же режиме, что и основной. Ресурс резервных элементов в этом случае начинает расходоваться с момента включения в работу системы.
2. **Облегченный резерв (теплый)** - резервный элемент находится в менее нагруженном режиме, чем основной. Ресурс резервных элементов начинает расходоваться с момента включения всей системы в работу, но при этом интенсивность расхода ресурса резервных изделий до момента включения их в место отказавших значительно ниже, чем в обычных рабочих условиях.

3. **Ненагруженный резерв (холодный)** - резервный элемент практически не несет нагрузки. Другими словами, условия, в которых находится резерв, настолько легче рабочих, что практически резервные элементы начинают использовать свой ресурс только с включения их в работу в место отказавших.

При **пассивном резервировании** объекта отказ одного или нескольких элементов не влияет на его работу. Элементы соединены постоянно, перестроение структуры не происходит. Объект в данном случае “пассивно” сопротивляется появлению отказов элементов. Поэтому в системах с пассивным резервированием большое значение имеют условия работы элементов после появления отказа, т.е. стабильность нагрузки на элементы, оставшиеся работоспособными.

Если структура объекта такова, что при появлении отказа она перестраивается и объект восстанавливает свою работоспособность. При этом система активно реагирует на появление отказа, в результате чего данный метод резервирования называется **активным резервированием**.

Надежность систем в весьма значительной степени определяется тем, применено ли резервирование с восстановлением или без него.

Резервированием с восстановлением называется такое, при котором работоспособность любого основного и резервного элементов системы в случае возникновения отказов подлежит восстановлению в процессе эксплуатации системы.

В противном случае имеет место **резервирование без восстановления**.

Также встречается **мажоритарное резервирование** - метод повышения надежности с принципами «голосования». Для этого используют несколько устройств, одновременно выполняющих одни и те же функции (например, четыре бортовых компьютера из пяти управляют космическим кораблем «Space Shuttle» на режиме влета). Это позволяет при выходе из строя одного из устройств (одновременный выход из строя двух и более устройств, считается маловероятным) решать сразу две задачи малых затрат времени: выработать правильный выходной сигнал и определить место возникновения отказа. Решение о том, какой сигнал должен быть на выходе, принимается методом «голосования», т.е. по большинству выходных сигналов отдельных устройств. Выработка общего выходного сигнала осуществляется мажоритарным

элементом (элементом голосования). Для определения места отказа имеется элемент анализа, который работает параллельно с мажоритарным элементом и указывает вышедшее из строя устройство [4].

При **толерантном резервировании** системы для обнаружения устранения собственных неисправностей не требуется вмешательство человека. Например, толерантность бортовых вычислительных систем космического корабля «Space Shuttle» достигается при одновременном использовании трех форм избыточности: аппаратной, программной и временной [6],

Внутриэлементное резервирование заключается в резервировании внутренних связей элементов. Использование такого способа резервирования связано с изменением конструкции элемента.

Резервирования является мощным элементом повышения надежности системы, так как при резервировании надежность системы может быть принципиально выше надежности любого элемента. В этом принципиальное отличие повышения надежности резервированием от всех остальных способов ее повышения.

Если мы имеем дело с восстанавливаемыми объектами, то для получения максимального эффекта от применения резервирования необходима совершенная система контроля, которая в состоянии мгновенно обнаружить появление неработоспособного состояния любого элемента. На самом деле контролируется лишь какая-то часть элементов и возможны ложные сигналы о неработоспособности объекта из-за отказов системы контроля или ошибок персонала, неправильно оценивающего показания прибора. Если в первом случае мы имеем дело с неполным контролем, то во - втором неидеальным контролем. Кроме того, контроль может производиться периодически или в случайные моменты времени. Часто возникает такая ситуация, когда не удается осуществить одинаковый контроль основного и резервного элементов. Все эти аспекты оказывают существенное влияние на эффективность резервирования.

Схема классификации резервирования представлена на рисунке 11.

Анализ различных методов резервирования позволяет сформулировать основные его свойства.

- 1) Основное положительное свойство резервирования состоит в том, что оно позволяет из малонадежных элементов проектировать надежные системы.

Это свойство всякого резервирования выгодно отличает его от остальных методов повышения надежности.

- 2) Выигрыш надежности по вероятности отказов всегда начинается с нуля и асимптотически стремится к единице независимо от надежности резервированной системы и ее элементов. При этом скорость роста выигрыша надежности по вероятности отказов тем выше, чем менее надежна основная система и чем ниже кратность резервирования.

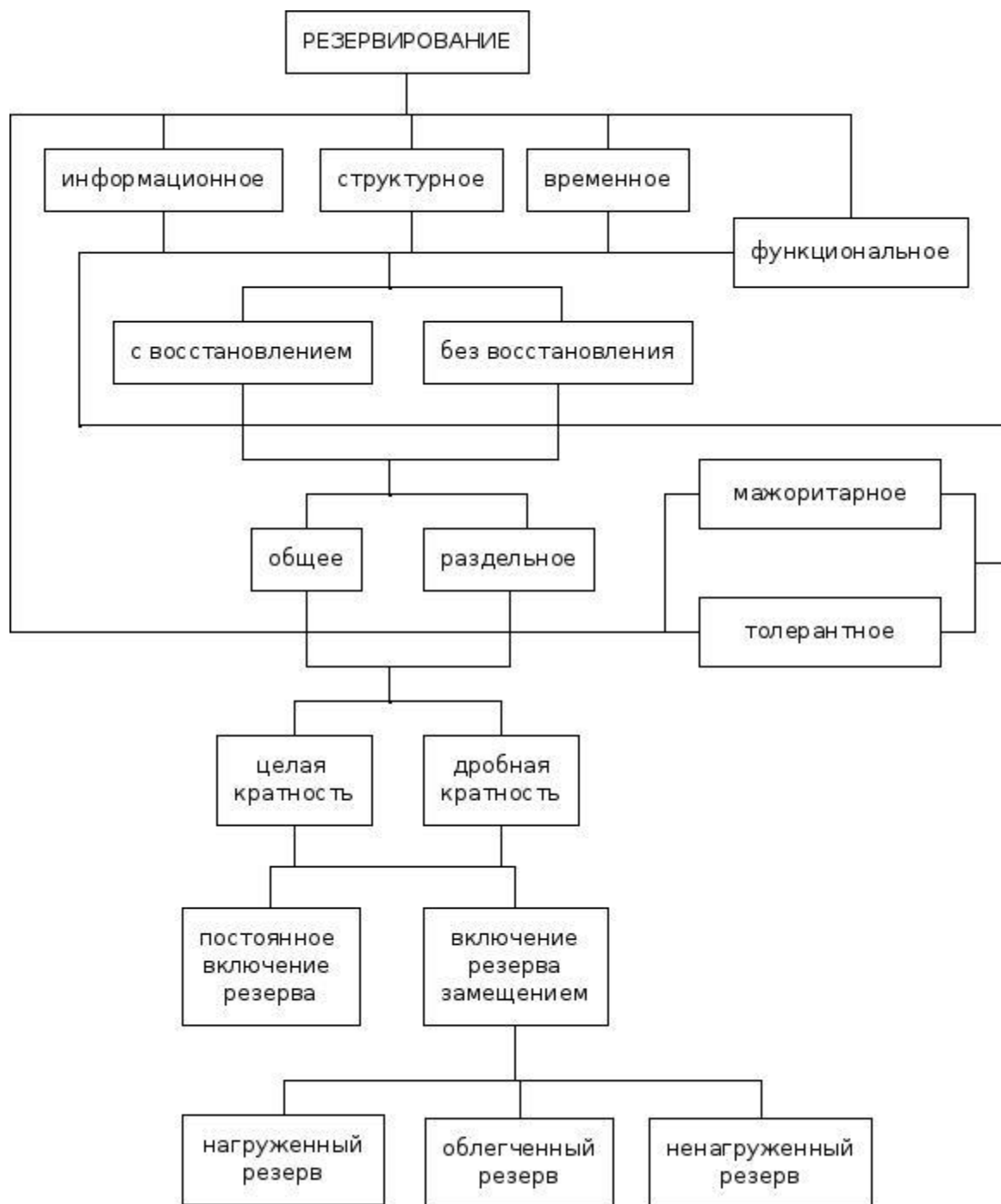


Рисунок 11 - Классификация резервирования

- 3) Среднее время безотказной работы при резервировании с дробной кратностью может быть меньше, чем среднее время безотказной работы не резервированной системы. Это имеет место при условии, если число резервных систем меньше числа основных. С ростом кратности резервирования выигрыш надежности по среднему времени безотказной работы растет, причем скорость роста существенно убывает с ростом кратности резервирования. Это свойство также присуще общему и поэлементному резервированию с постоянно включенным резервом.
- 4) Характерная особенность сложных систем разового применения состоит в том, что большую часть времени они находятся в состоянии хранения. Очевидно, что в момент включения такой системы в работу все её элементы должны быть исправными. Это означает, что выход из строя хотя бы одного элемента резервирования системы в процессе её хранения следует считать отказом всей системы. Так как число элементов резервированной системы всегда выше числа элементов нерезервированной системы, то первая всегда будет иметь большую опасность отказов.

Отмеченные свойства резервирования позволяют сделать следующие важные выводы:

- резервирование как средство повышения надежности наиболее целесообразно применять для повышения надежности сложных систем, предназначенных для короткого времени непрерывной работы, использование резервирования для повышения надежности систем, предназначенных для длительного времени работы, часто требует высокой кратности резервирования, что ограничивает его использование в системах, которые критичны в отношении веса, габаритов или стоимости;*

- повышение надежности системы путем ее резервирования осуществляется за счет ухудшения таких её характеристик, как вес, габариты, стоимость, усложнение условий эксплуатации.*

Лекция № 6

Срок службы

Срок службы – это время от начала эксплуатации аппаратуры до ее технической непригодности. Сложные системы, как и ее элементы, не могут эксплуатироваться бесконечно. В процессе эксплуатации, хранения, транспортировки происходит старение элементов. **Назначение срока службы** – календарная продолжительность эксплуатации объекта, при достижении которой применение по назначению должно быть прекращено. Большое число отказов ведет к тому, что дальнейшая эксплуатация нецелесообразна и невозможна. Это время и характеризуется сроком службы аппаратуры.

Существует **гамма - процентный срок службы** - это календарная продолжительность эксплуатации объекта, в течение которой он не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах.

Некоторые системы практически никогда не достигают предельного состояния и снимаются с эксплуатации только в результате морального устаревания. Примером такой системы может служить городской транспорт. В этих системах элементы заменяются новыми без ущерба для функционирования.

Назначение срока службы может производиться по техническим и экономическим показателям.

Можно отметить, что чем выше срок службы элементов при прочих равных условиях, тем выше срок службы системы.

В документации, прикладываемой к системе, всегда **указывается гарантийный срок службы**. Это говорит о том, что если в течении гарантийного срока произойдет отказ, то не потребитель, а предприятие, установившее этот срок будет нести юридическую ответственность, т.е. предприятие выполняет ремонт оказавшей системы, или в том случае если система не подлежит восстановлению, заменяет ее исправной.

Необходимо обратить внимание, что гарантийный срок службы всегда меньше срока службы.

Ремонтопригодность

Совместно с надежностью ремонтпригодность характеризует способность системы выполнить заданные функции в любой момент времени. Чем надежнее система и чем выше ее ремонтпригодность, тем реже она отказывает и меньше простаивает, т.е. тем выше вероятность застать систему в любой момент времени в исправном состоянии.

Ремонтопригодность - свойство элемента или системы, заключающееся в приспособленности к обнаружению отказов, к их предупреждению и восстановлению работоспособного состояния и процессе обслуживания и ремонта.

Если система имеет высокую надежность и редко отказывает, но, имея низкую ремонтпригодность, требует больших затрат времени на профилактику и восстановление, то она не всегда может конкурировать с системой, которая менее надежна, но зато время ее простоя, необходимое для и восстановления, мало. В данном случае первая аппаратура может потребовать большего резерва, чем вторая.

Время, необходимое для восстановления, так же как и время возникновения отказов, является величиной случайной, зависящей от характера отказов, квалификации и опыта обслуживающего персонала, организации ремонта и т.д. [7].

Это понятие не имеет смысла для таких систем разового использования, которые не восстанавливаются ни в процессе хранения, ни в процессе работы.

Сохранность

Сохранность – свойство системы находиться в исправном состоянии, т.е. сохранять свои характеристики, обеспечивающие выполнение заданных функций, в процессе хранения во времени.

Хранение есть неотъемлемая часть эксплуатации, следовательно, термин «сохранность» отождествляется с понятием надежность для специфических

условий – хранения системы. Очевидно, что сохранность зависит от многих факторов, большая часть которых имеет случайный характер. Для того чтобы оценить сохранность системы необходимо располагать критериями надежности.

Так как хранение системы может длиться достаточно длительным период времени, для того, чтобы спрогнозировать сохранность системы, необходимо смоделировать этот процесс путем ускорения испытания сохранности.

Сохранность является важным техническим понятием. Она дополняет понятие надежности и вместе с ним определяет надежность системы в различных ее состояниях.

Имеется такая система, у которой время хранения примерно равно времени их работы, а иногда во много раз его превосходит – эта системы разового использования и системы с малым коэффициентом использования. К таким системам относятся также запасные части и приборы, хранящиеся на складе[8].

Старение

Старение – это необратимый процесс изменения параметров и характеристик элементов и систем.

Старение элементов, как и их изнашивание, приводит к отказам в тот момент, когда изменения параметров превышают допустимые отклонения от норм. Старение – это непрерывный процесс, который ускоряется под силой воздействия внешней среды (влаги, давления, света, тепла). Явление «старение» наблюдается у всех элементов системы без исключения. Но в большей мере проявляется у изолирующих материалов органического происхождения. Например, каучуковые материалы становятся жёсткими и ломкими, покрываются трещинами.

Техническое обслуживание

Техническое обслуживание - это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предупреждение отказов, на обеспечение исправного состояния в процессе эксплуатации и готовности к использованию.

Задачи технического обслуживания:

1. предупреждение ускоренного износа и старения:
2. устранение последствий износа и старения:
3. поддержание основных технических характеристик:
4. продление межремонтных сроков эксплуатации аппаратуры.

Основу технического обслуживания составляют профилактика и регламентированные проверки.

Целью профилактических работ является выявление ненадежных, отказавших или неисправных элементов, установление причин, способствующих возникновению отказов.

Содержание профилактических работ: чистка аппаратуры, ее узлов и элементов: механические, смазочные периодические и сезонные работы.

Различают несколько методов назначения сроков проведения мероприятий по техническому обслуживанию: календарный, регламентированный, комбинированный, по техническому состоянию объектов.

Календарный метод состоит в проведении технического обслуживания в зависимости от срока службы объектов, т.е. календарного времени их эксплуатации. Метод применяется для объектов, подверженных старению.

Регламентный метод состоит в проведении обслуживания по достижении определенной наработки (например, километры пробега).

Комбинированный метод применяется, если одновременно аппарат подвергается износу и старению, цель которого назначить сроки проведения работ по техническому обслуживанию.

При назначении сроков проведения мероприятий по техническому обслуживанию изучаются различные планы их проведения. Эти планы получили условное название *стратегии технического обслуживания*.

Имеется плановая и смешанная стратегии.

При *плановой стратегии* мероприятия по техническому обслуживанию проводятся через равные периоды наработки (срока службы) независимо от количества произошедших за это время отказов.

При *смешанной стратегии* проводятся мероприятия двух видов: плановые и аварийные.

Плановые мероприятия проводятся при отсутствии отказов через постоянное время t . Если происходит отказ объекта, то он устраняется и объект подвергается *аварийному* техническому обслуживанию. Время до следующего очередного планового мероприятия по техническому обслуживанию отсчитывается от момента окончания предыдущего (планового или аварийного). В настоящее время чаще всего применяется плановая стратегия технического обслуживания из-за удобства ее планирования.

Техническое обслуживание может включать работы по регулированию определяющих параметров, устранению дефектов, контролю и восстановлению работоспособности.

При техническом обслуживании наряду с положительным действием часто имеются нежелательные последствия проникновения внутрь объекта. При проведении осмотров и работ иногда приходится осуществлять частичный демонтаж и монтаж объекта — отсоединять разъемы, снимать кожухи, открывать люки, менять фильтры и т.д. А также могут производиться зачистка, продувка, промывание и другие работы, в ходе которых детали и узлы испытывают необычные механические нагрузки. Эти нагрузки изменяют распределение внутренних механических напряжений в деталях и узлах системы, нарушают установившееся ранее, до проведения работ, динамическое равновесие. После проведения работ по техническому обслуживанию часто наблюдается всплеск параметра потока отказов. Всплеск зависит от технологичности обслуживания объекта и культуры технического обслуживания. В том случае, если объект не нужно разбирать при проведении работ по техническому обслуживанию, то временное увеличение значений параметра потока отказов обычно отсутствует.

Для снижения потока отказов необходимо, чтобы техническим обслуживанием занимался высококвалифицированный персонал, имеющий хороший инструмент и технические приспособления.

Элемент расчета надежности

Элементом расчета надежности называется устройство, имеющее количественную характеристику надежности, самостоятельно учитываемую при расчете надежности соединения.

Термин «элемент расчета надежности» имеет большое практическое значение при выполнении инженерных расчетов надежности сложных систем. Расчет надежности системы ведется по известным количественным характеристикам надежности элементов, входящих в нее. Для оценки надежности системы определяют интенсивность отказов. Общая интенсивность отказов основных элементов позволяет ответить на вопрос, каково будет среднее время безотказной работы системы, состоящей из многих элементов различного типа, подвергающихся воздействию электрических, температурных и других нагрузок.

Обычно при расчете надежности сложных систем рассчитывают вероятность их безотказной работы. Расчет ведется по известным количественным характеристикам надежности деталей, приборов, соединений и т.п., входящих в систему. Т.е. вначале определяются количественные характеристики надежности их деталей и элементов, затем вычисляются количественные характеристики надежности системы. Определяется тип каждого отдельного элемента, его характеристика и т.д. Расчету надежности должны предшествовать пробная проверка соответствия элементов ТУ на систему в целом, а также изучение окружающих режимов условий работы элементов с тем, чтобы обеспечить возможность применения наиболее рациональных методов расчета.

Выбирается метод расчета с последующим подбором определенных номограмм, таблиц, графиков или поправочных коэффициентов.

Определяются эквивалентные постоянно действующие электрические нагрузки и влияние внешней среды на каждый элемент.

Определяются по соответствующей таблице или графику интенсивности отказов каждого элемента.

При расчете надежности системы целесообразно придерживаться следующего порядка.

1. Формулируется понятие отказа конкретной системы. При расчете надежности необходимо учитывать только те элементы, выход из строя которых приводит к отказу. Часто в сложных элементах имеются элементы, выход из строя которых приводит лишь к ухудшению некоторых характеристик системы (точности, качества, переходного процесса и т.д.). отказы других элементов приводят к нарушению работоспособности системы, т.е. с точки зрения надежности элементы системы не равнозначны. Следовательно, прежде

чем приступать к расчету надежности, необходимо четко сформулировать, что следует понимать под отказом системы, а затем уже выбирать число элементов, которое должно быть учтено при расчете вероятности исправной работы, или при расчете других количественных характеристик надежности.

2. Составляется схема расчета надежности. Схему расчета удобно составить таким образом, чтобы элементами расчета были конструктивно оформленные блоки. Может оказаться, что в этих блоках имеются элементы, работающие только некоторую часть времени. В этом случае целесообразно такие элементы распределить по времени их работы на группы и образовать из этих групп самостоятельные элементы расчета.

3. Выбирается метод расчета надежности. В соответствии с типом соединения элементов выбираются расчетные формулы.

4. На основании результатов расчетов надежности делается вывод о годности системы по параметру надежности, и составляются рекомендации, направленные на повышение надежности рассчитываемой системы.

Элементы расчета могут иметь или основное, или резервное соединение.

Основным соединением элементов расчета называется такое, при котором отказ любого элемента ведет к отказу всего соединения.

Резервным соединением элементов расчета называется такое, при котором отказ соединения наступает только в том случае, если отказали основной и все резервные элементы.

Чаще всего сложная система состоит из элементов расчета, часть которых имеет основное соединение, а часть – резервное [7].

Лекция № 7

Запасные части

При эксплуатации аппаратуры важную роль играют запасные части, которые необходимы при отказах, чтобы уменьшить время простоя оборудования.

Запасная часть (ЗЧ) – составная часть системы, предназначенная для замены находящейся в эксплуатации такой же части в целях поддержания или восстановления работоспособности системы. Запасные части объединяют в комплекты [5]:

- 1) **одиночный**, который предназначен для поддержания в работоспособном состоянии путем проведения технических обслуживаний и технического ремонта силами эксплуатирующего его персонала в объеме требований эксплуатационной документации;
- 2) **групповой**, нужен для обеспечения технического обслуживания и ремонта объектов с истекшими гарантийными сроками эксплуатации, силами ремонтного подразделения эксплуатирующей организации в размере требований эксплуатационной документации. Его используют так же для пополнения одиночного комплекта. Он поставляется предприятием вместе с соответствующей группой объектов один раз на все время их эксплуатации;
- 3) **ремонтный**, предназначен для ремонта группы элементов на ремонтных предприятиях, поставляется отдельно от оборудования и хранится на складах ремонтных предприятий;
- 4) **россыпью**, предназначен для пополнения групповых и ремонтных комплектов при техническом обслуживании и ремонте;
- 5) **эксплуатационные материалы**, предназначены для использования при техническом обслуживании и ремонте оборудования. К таким материалам относятся смазки, лаки.

Недостаточно обоснованный состав комплектов ЗЧ приводит, с одной стороны, к созданию неиспользуемых запасов на складах служб материально-технического обеспечения систем, а с другой, - к значительному дефициту некоторых элементов.

Оптимизация состава ЗЧ и системы их обеспечения повышает эффективность использования элементов во время эксплуатации; уменьшает

дефицит необходимых ЗЧ; сокращает неиспользуемые запасы на складах материально-технического обеспечения; уменьшает расходы на приобретение, доставку и хранение ЗЧ; устанавливает номенклатуру и количество запасных элементов.

Основная задача расчета комплектов ЗЧ состоит в обосновании номенклатуры запасных частей и их количества. Для ее решения требуются специальные методы. Состав заменяемых частей зависит от многих факторов:

- ресурса заменяемых частей и степени его использования;
- годовой наработки и межремонтного ресурса элементов;
- степени старения и износа элементов;
- внешних воздействий;
- условий эксплуатации.

Для установления номенклатуры ЗЧ анализируются конструкция системы, технологические возможности по замене элементов в зависимости от сил и средств технического обслуживания и ремонта. Так, при определении номенклатуры одиночного комплекта анализируются возможности персонала, эксплуатирующего систему (квалификация, наличие времени с учетом конструкции системы). При определении номенклатуры ЗЧ группового комплекта учитываются технологические возможности ремонтного подразделения (предприятия, базы), а также наименование элементов, подлежащих планово-предупредительным заменам [5].

Общие сведения по расчету показателем надежности СУ

Быстрые темпы развития инженерной практики, задания и проверки выполнения требований по надежности привели к необходимости ее количественной оценки, которая осуществляется с помощью показателей надежности - технических характеристик, количественным образом определяющих одно или несколько свойств, составляющих надежность объекта. В соответствии с определением показатели надежности могут быть единичными и комплексными.

Введение количественных показателей различных свойств надежности осуществляется на общих принципах моделирования.

Под моделью понимается представление объекта исследования с учетом всех наиболее существенных внешних и внутренних факторов, применяемых

критериев и методов математического описания процессов функционирования и изменения, физических представлений о деграционных процессах (модели отказов). При использовании объектов по назначению необходимо учитывать влияние противодействующих факторов (модели профилактики и восстановления), степень которых зависит от режимов использования. Полнота математического описания будет определяться степенью абстрагирования на основе введенных ограничений, однако в любых случаях сохраняется требование адекватности модели реальным условиям. Обобщенный алгоритм моделирования представлен на рис. 1. Под критериями оценки здесь понимается количественная мера, с помощью которой удобно оценивать надежность. Характер этой меры определит выбор математического аппарата для описания свойств объекта, что позволит ввести количественные показатели надежности (КПН). Выбор критерия определяется свойствами оцениваемого объекта, при этом учитываются:

- возможность возобновления функционирования (восстанавливаемые - невосстанавливаемые системы);
- режимы использования систем (длительное, эпизодическое, непрерывное, однократное использование);
- режимы хранения и транспортирования;
- структурные свойства систем, т.е. наличие или отсутствие избыточности.

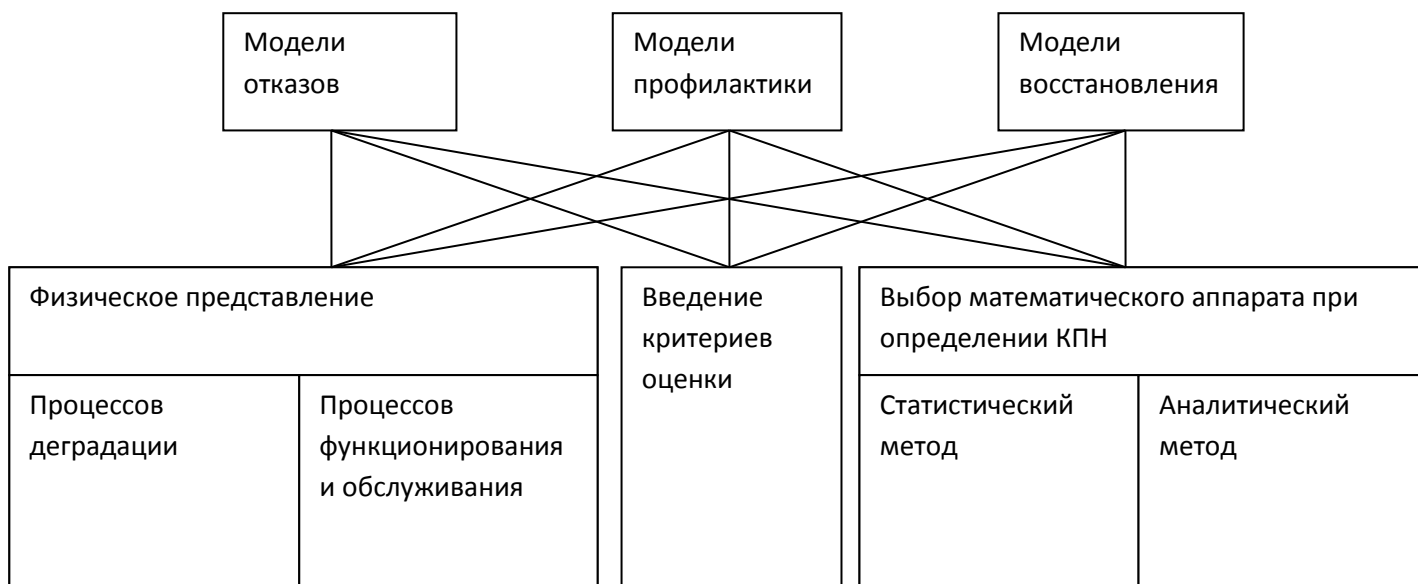


Рис. 1. Процесс моделирования надежности

Поскольку надежность является комплексным свойством, то критериальный выбор целесообразно производить по составляющим: безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости. Все они в избранном интервале времени оцениваются количеством случайных событий, связанных с прекращением, возобновлением и сохранением возможности функционирования, а также наступлением предельных состояний. Случайность этих событий определяется многочисленностью и случайностью воздействий на системы в процессе их эксплуатации.

Следует отметить, что выбор тех или иных критериев для оценки надежности определяется классом систем в рассматриваемой ситуации, (восстанавливаемые - невосстанавливаемые).

В соответствии с изложенными принципами, безотказность может оцениваться с помощью случайных наработок до первого отказа или между отказами, а также случайным числом отказов за рассматриваемый интервал времени. Ремонтпригодность - случайным временем восстановления и случайным числом восстановлений. Долговечность - случайной наработкой до установленного предельного состояния, выражаемой в часах (ресурсом) или в календарных интервалах времени (сроком службы). Сохраняемость - случайным сроком сохраняемости или случайным числом отказов при хранении.

Случайный характер показателей однозначно предполагает стохастичность моделей, т. е. описание процессов изменения свойств с помощью математического аппарата теории вероятности. В таком случае в качестве количественных показателей надежности должны использоваться функции распределения критериев надежности, а также числовые характеристики этих функций.

Стохастичность показателей предопределяет принципиальную возможность описания количественных показателей надежности двумя методами: аналитическим и статистическим, причем статистические модели как более точные и адекватные реальным условиям служат для формирования исходных данных (априорной информации), используемых при анализе надежности.

Независимо от определяемых свойств надежности все количественные показатели надежности вводятся по единой методике, в основе которой лежит алгоритм представленный на рис. 1. Тем не менее, во многих случаях практической оценки надежности следует исходить из приоритетности показателей различных свойств.

Основным, и наиболее фундаментальным свойством надежности, с точки зрения отражения первичных физических процессов функционирования

объектов и степени жесткости задания требований к ним в ограниченных временных интервалах, следует считать свойство безотказности. Поддержание уровня безотказности объектов на ряде последовательных интервалов их функционирования возможно лишь путем направленного воздействия в виде технического обслуживания и ремонта. Известно, что эффективность указанных воздействий определяется свойством ремонтпригодности, которому следует присвоить тот же приоритет, что и безотказности.

С позиций обоснования требований надежности безотказность и ремонтпригодность рассматриваются, как правило, совместно. Тем самым устанавливается альтернатива выбора приоритета указанных свойств, для заданного режима использования систем. Оптимизация в этом случае достигается на основе комплексных показателей надежности.

Долговечность в соответствии с динамикой возможных состояний систем можно рассматривать как временную деградацию свойства безотказности вследствие необратимых явлений износа и старения. Таким образом, принципиально показатели долговечности сохраняют тот же характер, что и показатели безотказности, но учитывается коррекция по рассматриваемым интервалам времени и установленным режимам до наступления предельных состояний. Тот же вывод можно сделать и относительно показателей свойства сохраняемости, которое следует рассматривать как безотказность в специальных режимах хранения и транспортирования. Приведенные соображения определяют более низкий в смысле задания требований приоритет свойств и количественных показателей долговечности и сохраняемости. Это положение подтверждается и практикой: долговечность и сохраняемость как свойства объектов не оказывают существенного влияния на эффективность их функционирования. Воздействие этих свойств проявляется в области инфраструктуры: подготовки объектов к использованию по назначению, решения вопросов технического обеспечения действующих систем.

Кроме того, следует учитывать, что меры, принятые на этапах проектирования и производства систем по обеспечению безотказности и ремонтпригодности, в основном обеспечивают необходимый уровень долговечности и сохраняемости. Однако проверка выполнения заданных требований по долговечности и сохраняемости статистическим путем встречает значительные трудности вследствие необходимости организации весьма длительных испытаний.

Данные таких испытаний могут обесцениваться из-за морального старения самих систем. Предпочтительность отбора показателей из установленных для характеристики отдельных свойств надежности

номенклатуры должна определяться с учетом полноты и наглядности оценки, ее статистической воспроизводимости и удобства вычисления.

Вероятность безотказной работы

Вероятность безотказной работы - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ системы не возникает, является показателем безотказности. Аналогично определяемый показатель может применяться для режимов хранения и (или) транспортирования.

Под **наработкой** понимается продолжительность работы элементов. Нарботка может измеряться в единицах времени. В процессе эксплуатации различают наработку суточную, месячную, до отказа. Если элементы эксплуатируются в различных режимах, то наработка в облегченном режиме может быть выделена, и учитываться отдельно от наработки при нормальной нагрузке. Для элементов, работающих с перерывами, учитывается суммарная наработка.

Длительность безотказной работы элемента является возрастом элемента к моменту, когда произойдет отказ. Эта величина не может быть отрицательной и имеет дискретное или непрерывное распределение во времени. Практический интерес представляет непрерывное распределение. Вероятность безотказной работы $P(t)$ является убывающей функцией, причем $P(0) = 1$, $P(\infty) = 0$.

Предположим, что t - заданное время эксплуатации, т.е. время, в течение которого необходимо определить вероятность безотказной работы, а T - случайная величина времени безотказной работы до первого отказа. Если $T > t$, то это будет означать, что на протяжении времени t не произойдет ни одного отказа, т.е. можно записать следующее выражение:

$$P(t) = P(T \geq t). \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы - это вероятность того, что время T от момента включения системы до ее отказа будет больше или равно времени t , в течение которого определяется вероятность безотказной работы.

Вероятность безотказной работы статистически определяется отношением числа однотипных элементов N , безотказно проработавших

до момента времени t , к числу элементов N_0 , работоспособных в начальный момент времени $t = 0$:

$$P^*(t) = \frac{N}{N_0},$$

По статистическим данным вероятность безотказной работы находится по формуле:

$$P^*(t) = \frac{(N_0 - R(t))}{N_0},$$

где N_0 - первоначальное число систем (элементов),

$R(t)$ - число систем (элементов), отказавших за время t . Помимо вероятности безотказной работы, существует **вероятность отказа**.

Вероятность отказа $Q(t)$ - вероятность того, что в пределах заданной наработки возникает хотя бы один отказ. Т.е. это вероятность того, что за время t произойдет хотя бы один отказ. Следовательно, справедливо следующее выражение:

$$Q(t) = P(T < t). \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что вероятность отказа является интегральной функцией распределения времени исправной работы, т.е.:

$$Q(t) = F(t). \quad (5)$$

Поскольку отказ и безотказная работа объекта - события несовместные, то, очевидно, справедливо соотношение:

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (6)$$

Вероятность безотказной работы и отказа на интервале t образуют полную группу событий. $P(0) = 1$ и $Q(0) = 0$, а функции имеют монотонный характер. Таким образом, появляется возможность дать достаточно полную и наглядную интервальную оценку расхождения надежности до конкретного момента времени t (рис. 2).



Сходимость статистических моделей к теоретическим тем полнее, чем большее число объектов задействовано в эксперименте, т.е. $P^*(t) \rightarrow P(t)$, $Q^*(t) \rightarrow Q(t)$ при $N \rightarrow \infty$.

Достаточно представительный объем испытаний реально может быть обеспечен лишь для относительно недорогих неремонтируемых элестрорадиокомпонентов (элементной базы систем).

Часто мы имеем дело с вероятностью безотказной работы элементов и систем в течение некоторого времени t , считая от начала работы. Но существуют случаи, когда требуется определить вероятность того, что элемент, проработавший время t_1 , будет безотказно работать в течение последующего промежутка времени от t_1 до t_2 , то для этого нужно воспользоваться условной вероятностью безотказной работы, которая определяется по следующему выражению:

$$p(t_1, t_2) = p(t_2)/p(t_1). \quad (7)$$

Т.е. **условная вероятность безотказной** работы элемента есть отношение вероятности того, что элемент безотказно проработает время от 0 до t_2 , к вероятности его безотказной работы на время от 0 до t_1 (рис.3).

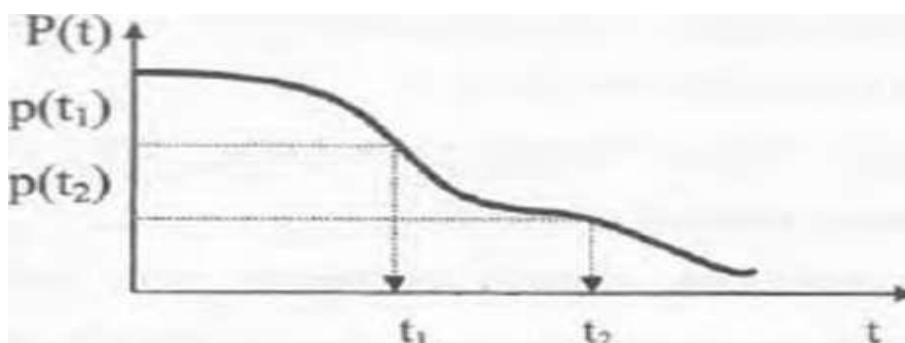


Рис. 3. Графическая интерпретация определения условной вероятности безотказной работы в произвольном промежутке

В тех случаях, когда мы имеем дело с электронной системой, имеющей основное соединение элементов, вероятность безотказной работы на основе теоремы умножения вероятностей безотказной работы всех элементов (рис. 4) определяется по следующей формуле:

$$P_N(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t),$$

где $P(t)$ - вероятность безотказной работы системы,
 $p_i(t)$ — вероятность безотказной работы i -го элемента,
 N - число элементов в объекте.

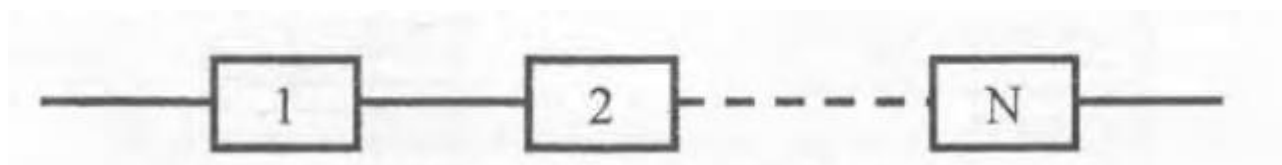


Рис. 4. Основное соединение элементов

В данном случае отказы элементов есть события независимые. Это говорит о том, что выход из строя любого из N элементов приводит к отказу всей системы.

В том случае, если все элементы имеют одинаковую надежность, т.е. вероятность безотказной работы у них одинаковая, то получим следующее выражение для расчета вероятности безотказной работы системы:

$$P(t) = (p(t))^N,$$

Отсюда видно, что при увеличении в системе числа элементов ее надежность будет быстро убывать.

Также целесообразно пояснить, что подразумевается под **вероятностью отказа системы**.

Вероятность отказа системы есть вероятность того, что за заданный интервал времени произойдет отказ, т.е. время исправной работы системы будет меньше заданного.

Очевидно, что система может находиться только в двух состояниях или в исправном, или в состоянии отказа, следовательно сумма вероятности безотказной работы и вероятность отказов всегда равна единице. Из этого следует, что вероятность отказа системы определяется по следующему выражению:

$$Q(t) = 1 - P(t) = 1 - p_1(t)p_2(t) \dots p_N(t). \quad (10)$$

По статистическим данным для наглядности можно построить функции вероятности безотказной работы (рис. 5).

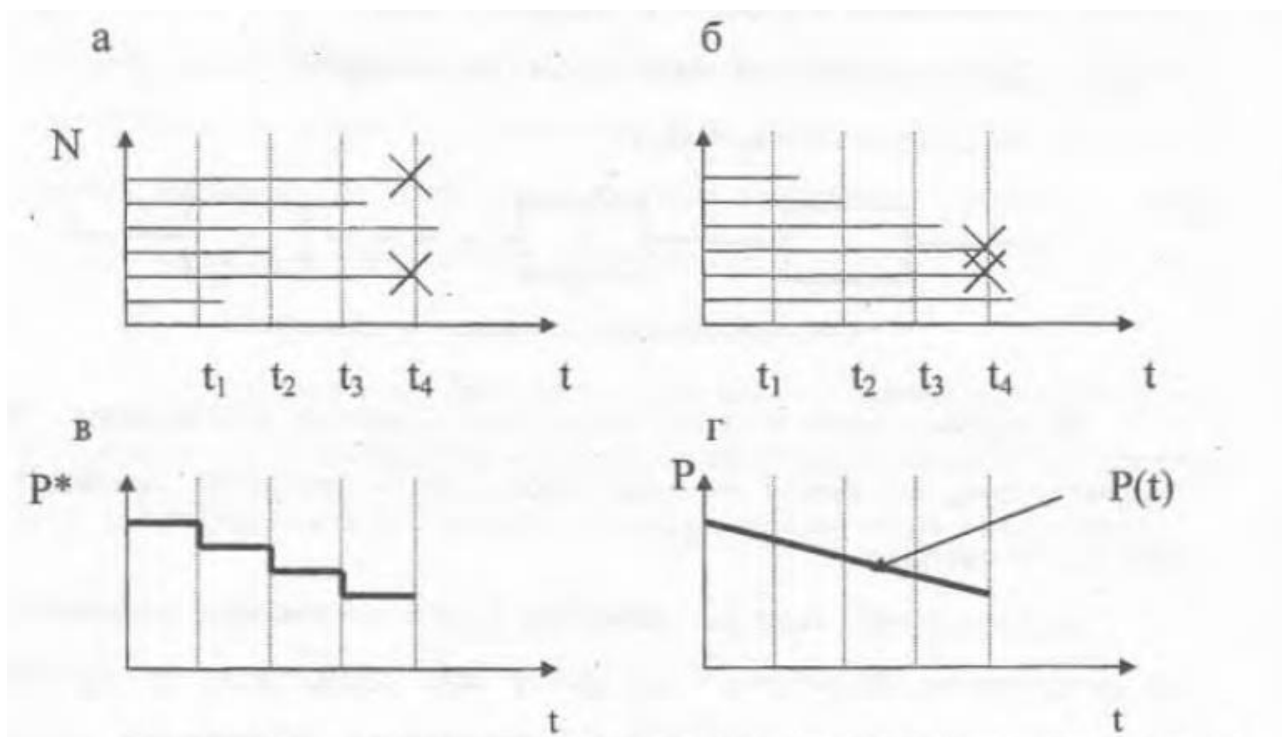


Рис. 5. Статистический метод построения функции вероятности безотказной работы: а - график наблюдений; б - упорядоченный график; в - шistogramма; г - функция

На рис. 5. сплошной линией обозначается наработка системы, а крестом - отказ.

Вероятность безотказной работы, как количественная характеристика надежности, обладает следующими достоинствами:

- учитывает большинство факторов, влияющих на надежность;
- дает наглядное представление о характере изменения надежности во времени;

- может использоваться для различных технических расчетов, связанных с практическим использованием системы;
- входит во многие другие характеристики объекта;
- она необходима для расчета стоимости изготовления и эксплуатации системы;
- ее легко рассчитать до изготовления системы, что дает возможность выбрать оптимальную с точки зрения надежности, структуру системы.

Наряду с достоинствами эта характеристика имеет и ряд недостатков:

- вероятность безотказной работы не всегда удобна для оценки надежности простых элементов, это чаще всего касается элементов, у которых отсутствует старение;
- не дает возможность установить, будет ли система готова к действию в данный момент времени или нет;
- характеризует надежность восстанавливаемых систем только до первого отказа, следовательно является достаточно полной характеристикой надежности только для систем разового использования.

Но несмотря на вышеперечисленные недостатки, характеристика надежности довольно часто используется.

Лекция № 8

Вероятность бессбойной работы.

Вероятность бессбойной работы $P_c(t)$ -есть вероятность того ,что в заданном интервале времени t будут отсутствовать сбои системы или элементов. Эта характеристика связана с функцией распределения времени бессбойной работы, которая представляет собой вероятность появления сбоя в течении времени t следующим образом: $P_c(t)=1-Q_c(t)$.

Для определения величины $P_c(t)$ используется следующая статистическая оценка $P_c(t)=\frac{N_o-R_c(t)}{N_o}$

N_o -число объектов , поставленных на испытание или эксплуатацию.

R_c -число систем из которых произошел сбой в течении времени t .

Вероятность восстановления.

Вероятность восстановления $S(t)$ – вероятность того, что отказавшее изделие будет восстановлено в течение заданного времени t .

Вероятность восстановления представляет собой функцию распределения времени восстановления:

$$S(t) = Q_v(t).$$

Очевидно, что $0 \leq S(t) \leq 1$, $S(0) = 0$, $S(\infty) = 1$.

Для определения величины $S(t)$ используется следующая статистическая оценка [1]:

$$S^*(t) = \frac{N_B}{N_{CB}},$$

где N_{CB} - число изделий, поставленных на восстановление;

N_B - число изделий, время восстановления которых было меньше заданного времени t .

Средняя интенсивность отказов

Средняя интенсивность отказов – отношение интенсивности отказов системы к общему числу различных элементов, входящих в систему.

В случае экспоненциального закона надежности:

$$\lambda_{cp} = \frac{\Lambda}{N}.$$

Среднюю интенсивность отказов нельзя смешивать с интенсивностью отказов элементов определенного типа, поскольку в данном случае усреднение производится по разнородным элементам системы.

Особенностью λ_{cp} является постоянство ее значений для системы определенного класса и назначения независимо от степени сложности системы, т. е. от числа элементов в ней. Эта характеристика часто используется для оценки уровня надежности системы определенного класса при идентичных условиях ее производства и эксплуатации.

Среднее время безотказной работы.

Среднее время безотказной работы - математическое ожидание времени исправной работы элементов. Другими словами можно сказать, что среднее время безотказной работы есть площадь под кривой вероятности безотказной работы.

Эта характеристика необходима для оценки надежности однотипных систем и элементов с точки зрения продолжительности их работы до первого отказа. Если известен математический закон, можно определить математическое ожидание случайной величины, т.е. среднее время исправной работы:

$$T_{cp} = \int_{-\infty}^{\infty} t dQ(t).$$

Или

$$T_{cp} = \int_{-\infty}^{\infty} t Q'(t) dt.$$

Поскольку такая величина как время не может иметь отрицательных значений, то тогда выражение примет следующий вид:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} tQ'(t)dt.$$

Если подставим в выражение вместо $Q'(t)$ производную от вероятности безотказной работы с обратным знаком:

$$T_{cp} = - \int_0^{\infty} tP'(t)dt.$$

Ввиду того, что $P(0)=1$, а $P(\infty)=0$, то можно записать следующее выражение:

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t)dt.$$

Данный подход к определению среднего времени безотказной работы является вероятностным. Для определения среднего времени безотказной работы из статистических данных пользуются следующим выражением:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0},$$

где t_i - время безотказной работы i -ого образца,

N_0 - число образцов, над которым проводилось испытание.

Очевидно, что для определения T_{cp} необходимо знать моменты отказов всех образцов системы, над которым проводится эксперимент. Следовательно, при большом числе образцов N_0 это может сильно усложнить эксперимент. Поэтому в этом случае целесообразнее вычислять T_{cp} по следующей формуле:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{t_k} r_i t_{icp}}{N_0},$$

где r_i - число образцов, отказавших в i -м интервале;

t_{icp} - среднее время i -го интервала;

t_k - время в течении которого отказали все N_0 образцов;

Δt - величина выбранного интервала времени.

Достоинством этой количественной характеристики надежности является:

- простота ее вычисления из экспериментальных данных об отказах системы;
- наглядность.

Недостатки:

- математическое ожидание случайной величины не может полностью характеризовать время работы системы;
- не пригодна для резервных систем;
характеризует надежность системы до первого отказа.

Лекция № 9

Средняя наработка на отказ

Средняя наработка на отказ:

а).Вероятностное определение

$$T(t_0) = \frac{t_0}{M\{n(t_0)\}},$$

т.е. $T(t_0)$ – отношение суммарной наработки t_0 за заданный период времени к математическому ожиданию числа отказов за это же время,

б).Статическое определение

$$\bar{T}(t_0) = \frac{t_0}{n(t_0)} = \frac{1}{n(t_0)} \left[\sum_{k=1}^{n(t_0)} \bar{T}_k + \zeta \right],$$

т.е. $T(t_0)$ – отношение суммарной наработки t_0 за время наблюдения за объектом к наблюдаемому числу отказов за это же время, где ζ – наработка объекта от момента устранения последнего отказа до окончания наблюдения за объектом.

Средний ресурс

Средний ресурс – математическое ожидание ресурса, т.е. наработка деталей, элементов от начала эксплуатации до наступления предельного состояния. Под предельным состоянием понимается такое состояние деталей, элементов, при котором их дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена. Причинами его могут быть не устраняемые нарушения требований безопасности, неустранимый «уход» заданных параметров за допустимые пределы.

При наличии данных о ресурсах t_{pi} узлов и деталей статистически оценка среднего ресурса определяется по выражению:

$$t_{pi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{pi}, \quad (51)$$

где N - число узлов и деталей.

Средний ресурс измеряется в часах, километрах и т.п.

В качестве «квантильного» показателя безотказности для массовых электро- и радиокомпонентов системы рекомендуется гамма – процентная наработка до отказа t_γ – наработка, в течение которой отказ объекта не возникает с вероятностью γ .

Квантиль t_γ определяют из уравнения

$$1 - F(t_\gamma) = 1 - \int_0^{t_\gamma} f(t)dt = \gamma \frac{\gamma}{100}, \quad (52)$$

где $F(t_\gamma)$ – функция распределения наработки; γ – процентной наработки,

$f(t)$ - плотность распределения наработки до отказа (частота отказа).

Физически γ – процентная наработка выражается времени, в течение которого не отказывает γ процентов объектов из числа, поставленных на испытание. При $\gamma=100\%$ γ – процентная наработка называется установленной безотказной наработкой, при $\gamma=50\%$ - медианной наработкой.

Средний срок сохраняемости является математическим ожиданием срока сохраняемости. Определяется по следующей формуле:

$$T_{X.C.} = \frac{1}{\lambda_C}, \quad (53)$$

где λ_C - интенсивность отказов при хранении.

Средний срок сохраняемости можно выразить следующим образом:

$$T_{X.C.} = \ln \frac{P_0}{P_{И}}, \quad (53)$$

где P_0 - значение вероятности безотказной работы элементов в момент поступления на производство,

$P_{И}$ - значение вероятности безотказной работы к моменту их использования.

Ремонтопригодность

Ремонтопригодность - одно из основных свойств надёжности. Она характеризует способность системы выполнять заданные функции в любой момент времени. Чем надежнее система и чем выше ее ремонтпригодность,

тем реже она отказывает и меньше простаивает, т.е., тем выше вероятность заставить систему в любой момент времени в исправном состоянии.

Ремонтопригодность - свойство элемента или системы, заключающееся в приспособленности к обнаружению отказов, к их предупреждению и восстановлению работоспособного состояния в процессе обслуживания и ремонта.

Если система имеет высокую надежность и редко отказывает, но, имея низкую ремонтпригодность, требует больших затрат времени на профилактику и восстановление, то она не всегда может конкурировать с системой, которая менее надежна, но зато время ее простоя, необходимое для профилактики и восстановления, мало. В данном случае первая аппаратура может потребовать большего резерва, чем вторая.

Время, необходимое для восстановления, так же как и время возникновения отказов, является величиной случайной, зависящей от характера отказов, квалификации и опыта обслуживающего персонала, организации ремонта и т.д.

Это понятие не имеет смысла для таких систем разового использования, которые не восстанавливаются ни в процессе хранения, ни в процессе работы.

В качестве *основного показателя ремонтпригодности* используется среднее время восстановления системы T_B - определяет средние затраты времени на обнаружение и устранение отказа при заданных условиях обслуживания. Оно складывается из:

- 1) среднего времени контроля T_K ,
- 2) среднего времени поиска дефекта T_P ,
- 3) среднего времени устранения дефекта T_Y .

$$T_B = T_K + T_P + T_Y.$$

Статистически среднее время восстановления определяется: $T_B^* = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \tau_i$, где τ_i - время, затраченное на восстановление i -го заказа.

Количественной мерой ремонтпригодности является вероятность того, что объект будет отремонтирован за время τ : $P(\tau) = P(T_B < \tau)$

Для практических расчетов наиболее часто применяется *экспоненциальный закон распределения времени ремонта*, для которого

справедливо соотношение: $P(\tau) = 1 - e^{-\mu t}$, где μ - интенсивность ремонта системы.

Так же показателями ремонтпригодности являются:

- гамма - процентное время восстановления – время, в течение которого восстановление работоспособности системы будет полностью осуществлено с вероятностью γ , выраженной в процентах;

- коэффициент готовности k_r - определяет вероятность того, что система исправна в любой произвольно выбранный момент времени в промежутках между плановым профилактическим обслуживанием и оценивается отношением времени наработки на отказ T_n к сумме средних значений наработки на отказ T_n , времени простоя T_b , обусловленного техническим обслуживанием:

$$k_r = \frac{T_n}{(T_n + T_b)}$$

- коэффициент технического использования $k_{ти}$ - оценивается отношением времени наработки на отказ T_n в единицах времени за некоторый период эксплуатации к сумме средних значений наработки на отказ T_n , времени простоя T_b , обусловленного техническим обслуживанием, и времени ремонтов T_p за тот же период эксплуатации:

$$k_{ти} = \frac{T_n}{(T_n + T_b + T_p)}$$

Коэффициент готовности

Процесс функционирования восстанавливаемого объекта можно представить как последовательность чередующихся интервалов работоспособности и восстановления (простоя).

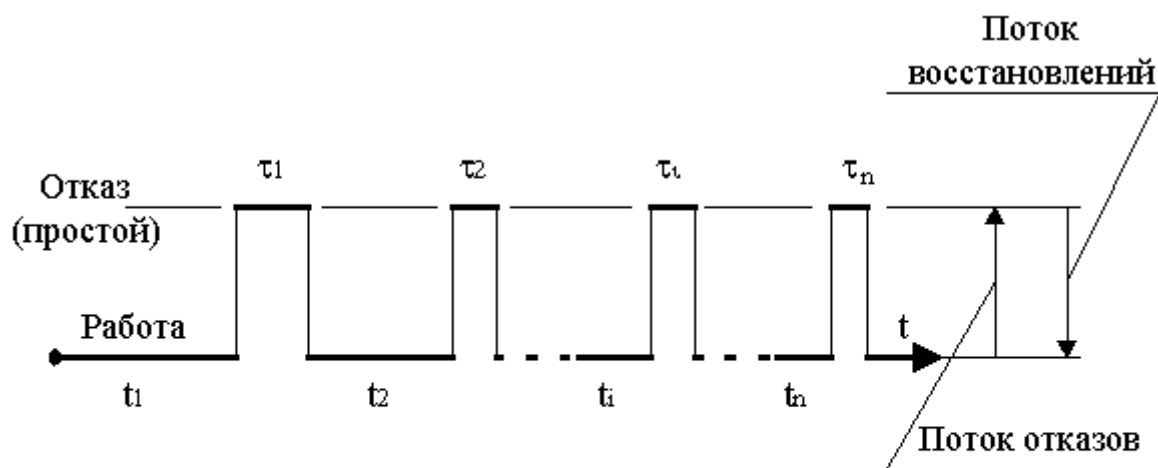


Рис. 2.4. График функционирования восстанавливаемого объекта:
 $t_1 \dots t_n$ – интервалы работоспособности; $\tau_1 \dots \tau_n$ – интервалы восстановления

Коэффициент готовности – это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается [6]. Математическое определение этого показателя дано ниже (разд. 7) при анализе надежности восстанавливаемых систем.

Этот показатель одновременно оценивает свойства работоспособности и ремонтпригодности объекта.

Для одного ремонтируемого объекта коэффициент готовности

$$K_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i} \quad (2.22); \quad K_{\Gamma} = \frac{\hat{T}}{\hat{T} + \hat{T}_B}, \quad K_{\Gamma_{\max}} = 1. \quad (2.23)$$

Из выражения 2.23 видно, что коэффициент готовности объекта может быть повышен за счет увеличения наработки на отказ и уменьшения среднего времени восстановления. Для определения коэффициента готовности необходим достаточно длительный календарный срок функционирования объекта.

Зависимость коэффициента готовности от времени восстановления затрудняет оценку надежности объекта, так как по K_{Γ} нельзя судить о времени непрерывной работы до отказа. К примеру, для одного и того же численного значения K_{Γ} можно иметь малые интервалы τ_i и t_i (см. рис. 2.4) и значительно большие. Таким образом можно доказать, что на конкретном интервале

работоспособности вероятность безотказной работы будет больше там, где больше t_i , хотя за этим интервалом может последовать длительный интервал простоя τ_i . Коэффициент готовности является удобной характеристикой для объектов, которые предназначены для длительного функционирования, а решают поставленную задачу в течение короткого промежутка времени (находятся в ждущем режиме), например, релейная защита, контактная сеть (особенно при относительно малых размерах движения), сложная контрольная аппаратура и т.д.

Так же существует понятие Коэффициент оперативной готовности

Коэффициент оперативной готовности K_{OG} определяется как вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени (кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается) и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Из вероятностного определения следует, что

$$K_{OG} = K_G \cdot P(t_p), \quad (2.23)$$

где K_G – коэффициент готовности; $P(t_p)$ – вероятность безотказной работы объекта в течение времени (t_p), необходимого для безотказного использования по назначению.

Для часто используемого в расчетной практике простейшего потока отказов, когда

$\lambda = \omega$, $P(t_p)$ соответственно определяется по выражению

$$P(t_p) = e^{-\lambda \cdot t_p} = e^{-\frac{1}{T} \cdot t_p}.$$

Лекция № 10

Коэффициент вынужденного простоя

Коэффициент вынужденного простоя K_{Π} , - отношение времени вынужденного простоя к сумме времени исправной работы и вынужденных простоев. Или можно сказать, что коэффициент вынужденного простоя есть отношение времени восстановления к сумме времени восстановления и безотказной работы системы, взятые за один и тот же календарный срок [3]:

$$K_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{в}i}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{р}i} + \sum_{i=1}^n t_{\text{в}i}}$$

Очевидна связь коэффициента вынужденного простоя с коэффициентом готовности: поскольку коэффициент вынужденного простоя является производным от коэффициента готовности, то этот коэффициент обладает всеми достоинствами и недостатками, присущими коэффициенту готовности. Зная среднее время безотказной работы и среднее время восстановления, можно для определения K_{Π} записать следующее выражение:

$$K_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{рв}i}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{рр}i} + \sum_{i=1}^n t_{\text{рв}i}}$$

Для системы, которая эксплуатируется длительное время, коэффициент простоя стремится к постоянной величине, т.е. определяется вероятностью того, что в установившемся процессе эксплуатации система в любой произвольно выбранный момент времени будет в состоянии восстановления:

$$K_{\Pi} = \frac{1}{1 + \frac{T}{t_{\text{рв}}}}$$

где T - среднее время безотказной работы.

Относительный коэффициент отказов

Относительный коэффициент отказов $K_{\text{н.о.}}$ есть отношение процента отказов системы вследствие выхода из строя элементов данного типа к проценту элементов в системе [5].

Определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{н.о.}} = \frac{r_i N}{R N_i},$$

где r_i - число отказов системы, называемых элементами i -го типа;

R - общее число отказов системы;

N_i - число элементов i -го типа системы;

N - общее число элементов в системе.

Достоинства относительного коэффициента отказов:

- данная характеристика надежности учитывает количество элементов в системе, поэтому по ее величине можно судить об их надежности, а также об относительной надежности, поскольку замена тех или иных элементов в системе приводит к изменению относительного коэффициента отказов остальных элементов;
- поможет выявить низкую надежность некоторых входящих в систему элементов с тем, чтобы в дальнейшем, принять меры к ее повышению или их заменить.

Коэффициент стоимости эксплуатации

Коэффициент стоимости эксплуатации $K_{\text{с.э.}}$ есть отношение стоимости эксплуатации системы в течение одного года к стоимости изготовления системы. Этот коэффициент необходим для того, чтобы оценить удельную стоимость на поддержание надёжности системы в период её эксплуатации [7].

Коэффициент стоимости эксплуатации определяется по формуле:

$$K_{\text{с.э.}} = \frac{C_{\text{с.э.}}}{C_{\text{с.и.}}},$$

где $C_{\text{с.э.}}$ – стоимость эксплуатации системы в течении одного года,

$C_{\text{с.и.}}$ – стоимость изготовления системы.

Стоимость эксплуатации системы в течение года рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{c.э.} = C_{з.} + C_{р.} + C_{пр.} + C_{рп.} + C_{э.р.},$$

где $C_{з.}$ – затраты на запасные детали;

$C_{р.}$ – затраты на ремонт;

$C_{пр.}$ – затраты на профилактику;

$C_{рп.}$ – затраты на содержание ремонтного персонала;

$C_{э.р.}$ – затраты на другие эксплуатационные расходы.

Очевидно, что чем надежнее система, тем меньше стоимость её эксплуатации и меньше значение коэффициента эксплуатации $K_{c.э.}$

Спроектировать и изготовить надежную систему достаточно трудно. Для этого необходимо максимально (насколько это возможно) упростить систему без ухудшения других ее характеристик, выбрать надежные элементы, облегчить режимы их работы и т.п. Это все требует дополнительных капиталовложений.

Эксплуатация надежной системы не требует большого числа запасных деталей, значительного количества персонала и т.д. Отсюда вывод – стоимость эксплуатации системы тем ниже, чем надежнее система.

Значение этого коэффициента $K_{c.э.}$ зависит не только от надежности системы, но и от большого числа других факторов: от сложности системы, квалификации персонала и т.п.

Коэффициент стоимости эксплуатации является удобной характеристикой экономичности системы, но при этом слабо характеризует надёжность системы.

Надежность систем при общем резервировании

Рассмотрим надежность системы с *общим резервированием элементов* [5]. Для этого вспомним, как определяется вероятность безотказной работы системы без резервных элементов:

$$P(t) = p_1(t)p_2(t) \dots p_n(t).$$

Вероятность отказа системы без резервных элементов определяется по следующему выражению:

$$Q(t) = 1 - \prod_{i=1}^n p_i(t).$$

Так как отказ является событием случайным и независимым, то вероятность наступления отказа системы $Q_c(t)$ с m резервными цепями будет равна произведению вероятностей отказов основной и резервной цепей:

$$Q_c(t) = Q_{\text{осн}}(t) \prod_{i=1}^m Q_{\text{рез}i}(t) = \prod_{i=1}^{m+1} Q_i(t).$$

При равенстве вероятности отказа основной цепи вероятностям отказа резервных цепей (этот случай на практике имеет наибольшее значение, поскольку при общем резервировании резервные элементы и цепи обычно выбираются такими же, как и основные, а их режимы работы – идентичными):

$$Q_c(t) = Q^{m+1}(t).$$

Следовательно, вероятность безотказной работы и вероятность отказа такой системы можно записать в виде:

$$P_c(t) = 1 - Q^{m+1}(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n p_i(t) \right]^{m+1},$$

$$Q_c(t) = \left[1 - \prod_{i=1}^n p_i(t) \right]^{m+1},$$

где p_i – вероятность безотказной работы i – го элемента;

n – число элементов в основной или в резервной цепи;

m – число резервных цепей.

Если все элементы системы обладают одинаковой надежностью, то последние формулы можно записать в следующем виде:

$$P_{\text{общ}}(t) = 1 - [1 - p_i^n(t)]^{m+1},$$

$$Q_{\text{общ}}(t) = [1 - p_i^n]^{m+1},$$

Так как для экспоненциального закона

$$p_i(t) = e^{-\lambda_0 t},$$

$$\prod_{i=1}^n p_i(t) = e^{-\lambda_0 t},$$

где $\lambda_0 = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$ - интенсивность отказов любой из $m+1$ систем.

$$P_{\text{общ}}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1},$$

$$Q_{\text{общ}}(t) = [1 - e^{-\lambda_0 t}]^{m+1},$$

Найдем выражение среднего времени безотказной работы резервированной системы:

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}] dt.$$

Если обозначим:

$$1 - e^{-\lambda_0 t} = z,$$

тогда

$$dt = \frac{dz}{\lambda_0(1-z)}.$$

Следовательно, выражение (94) примет вид:

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{\lambda_0} \int_0^1 \frac{1 - z^{m+1}}{1 - z} dz = \frac{1}{\lambda_0} \int_0^1 (1 + z + z^2 + z^3 + \dots + z^m) dz.$$

Обозначая

$$(1 + z + z^2 + z^3 + \dots + z^m) = \sum_{i=0}^m z^i,$$

получим

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{\lambda_0} \int_0^1 \sum_{i=0}^m z^i dz = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1} z^{i+1} \Big|_0^1.$$

Подставляя пределы интегрирования, получим окончательное выражение среднего времени безотказной работы резервированной системы:

$$T_{\text{cp}} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1} = \frac{1}{\lambda_0} \left(1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m+1} \right).$$

Вычислим частоту и интенсивность отказов системы, воспользовавшись выражениями:

$$a_c(t) = Q_c(t)$$

и

$$\lambda_c(t) = \frac{a_c(t)}{P_c(t)}$$

Дифференцируя формулы (92) и (93) получим:

$$a_{\text{общ}}(t) = \lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t}(1 - e^{-\lambda_0 t})^m,$$

$$\lambda_{\text{общ}}(t) = \frac{\lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t}(1 - e^{-\lambda_0 t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}}.$$

Выигрыш надежности резервированной системы при постоянно включенном резерве существенно зависит от того, какой количественной характеристикой оценивается надежность. Оценим выигрыш надежности по все ее количественным характеристикам.

Если возьмем отношение количественных характеристик резервированной и нерезервированной систем, получим выигрыш надежности для случая экспоненциального закона в виде следующих формул:

$$G_p(t) = \frac{1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}}{e^{-\lambda_0 t}},$$

$$G_Q(t) = (1 - e^{-\lambda_0 t})^m,$$

$$G_T(t) = \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1},$$

$$G_a(t) = \frac{\lambda_0(m+1)e^{-\lambda_0 t}(1 - e^{-\lambda_0 t})^m}{\lambda_0 e^{-\lambda_0 t}},$$

$$G_\lambda(t) = \frac{(m+1)e^{-\lambda_0 t}(1 - e^{-\lambda_0 t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}}$$

Лекция № 11

Надёжность систем при раздельном резервировании

Вероятность того, что произойдет отказ системы из-за отказов элементов i -го типа, равна произведению вероятностей отказов i -го элемента и всех элементов, его резервирующих, т.е.:

$$Q_i(t) = \prod_{i+1}^{m+1} q_i,$$

Вероятность безотказной работы i -го элемента и всех элементов, его резервирующих:

$$P_i(t) = 1 - \prod_{i+1}^{m+1} [1 - p_i(t)].$$

Так как обычно резервные и резервируемые элементы равнонадежны, то:

$$P_i(t) = 1 - [1 - p_i(t)]^{m+1}.$$

Поскольку функциональные группы соединены между собой так, что подчиняются законам основного соединения элементов, то вероятность безотказной работы равна произведению вероятности функциональных групп:

$$P_{\text{раз}}(t) = \prod_{i=1}^m \{1 - [1 - p_i(t)]^{m+1}\}.$$

Если вероятности безотказной работы всех элементов будут равны, то вероятность безотказной работы системы, согласно выражению (108), получит вид:

$$P_{\text{раз}}(t) = [1 - (1 - p_i(t))^{m+1}]^n.$$

Частота отказов (исходя из того, что мы имеем дело с экспоненциальным законом распределения) определяется по следующему выражению:

$$a_{\text{раз}}(t) = n(m + 1)\lambda e^{-\lambda t} (1 - e^{-\lambda t})^m [1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]^{n-1},$$

где n – число основных элементов в системе.

Интенсивность отказов рассчитывается по следующему выражению:

$$\lambda_{\text{раз}}(t) = \frac{n(m+1)\lambda e^{-\lambda t}(1 \cdot e^{-\lambda t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}}.$$

На основании вышеизложенного, выигрыш надежности резервированной системы (при отдельном резервировании, если резерв включен постоянно) по сравнению с нерезервированной по основным количественным характеристикам будет:

$$G_p(t) = \frac{[1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]^n}{e^{-\lambda e t}},$$

$$G_Q(t) = \frac{1 - [1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]^n}{1 - e^{-\lambda e t}},$$

$$G_a(t) = (m + 1)\lambda e^{\lambda t(n-1)}(1 - e^{-\lambda t})^m \{1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m+1}\}^{n-1},$$

$$G_\lambda(t) = \frac{(m+1)e^{-\lambda t}(1 - e^{-\lambda t})^m}{1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}},$$

Выигрыш надежности системы при отдельном резервировании по сравнению с общим резервированием с постоянно включенным резервом будет:

$$G_p^\Pi(t) = \frac{[1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]^n}{1 - (1 - e^{-\lambda e t})^{m+1}},$$

$$G_Q^\Pi(t) = \frac{1 - [1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]^n}{(1 - e^{-\lambda e t})^{m+1}},$$

$$G_a^\Pi(t) = \frac{e^{\lambda t(n-1)}(1 - e^{-\lambda t})^m \{1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}\}^{n-1}}{(1 - e^{-\lambda e t})^m},$$

$$G_\lambda^\Pi(t) = \frac{e^{\lambda t}(1 - e^{-\lambda t})^m [1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]}{e^{\lambda e t}(1 - e^{-\lambda e t})^m [1 - (1 - e^{-\lambda e t})^{m+1}]}.$$

Общие сведения по технической диагностике

Одним из важнейших средств обеспечения и поддержания надежности АСУ является техническая диагностика.

Под технической диагностикой понимается область знаний, разрабатывающая методы и средства поиска отклонений в режимах работы

(или состояниях) АС, обнаружения и устранения дефектов в системах (или ее элементах) и средства их локализации.

При диагностировании необходимо определить прежде всего, техническое состояние системы в данный момент времени. Это означает, что нужно проверить исправность, работоспособность и (или) правильность функционирования системы (определить, находятся ли значения параметров системы в требуемых пределах, т.е. Система не отказала и правильно выполняет заданную функцию) или обнаружить дефекты, нарушающие исправность, работоспособность и правильное функционирование системы. Тогда основную цель диагностирования АСУ можно сформулировать следующим образом: необходимо оценить выходные параметры системы и выявить причины их отклонения от заданных значений. При этом необходимо учитывать весь диапазон режимов работы системы и условий ее эксплуатации, а так же возможность изменения выходных параметров во времени (так называемая параметрическая надежность).

Различают тестовое и функциональное диагностирование.

Тестовое диагностирование позволяет проверить техническое состояние системы по тестовому воздействию на нее. По тесту проверяются параметры системы и ее элементов и причины их отклонения от заданных значений.

Функциональное диагностирование позволяет определить техническое состояние системы (или ее элементов) по рабочему воздействию на нее.

Рабочее воздействие контролирует выполнение системой заданных функций при заданных параметрах и выявить причины нарушения ее функционирования.

Тестовое и функциональное диагностирование выполняется по так называемому алгоритму диагностирования.

Алгоритм диагностирования - совокупность элементарных проверок в контрольных точках системы и правил, устанавливающих последовательность их проведения, а так же анализ результатов этих проверок, по которым можно определить исправное, работоспособное или состояние правильного функционирования от неисправного состояния и уметь отличать дефекты от неисправного состояния.

В алгоритмах тестового диагностирования контрольные точки определены предварительно и они одинаковы для всех проверок и подбираются и подбираются только тестовые воздействия.

В алгоритмах функционального диагностирования предварительно определены входные воздействия, а выбору подлежат контрольные точки.

При проведении различных элементарных проверок могут требоваться различные затраты на их реализацию. Эти проверки могут давать разную информацию о техническом состоянии системы. Одни и те же элементарные проверки могут быть реализованы в различной последовательности. Т.е. Для решения даже одной задачи диагностирования, можно построить несколько алгоритмов. Таким образом, встает задача разработки оптимальных алгоритмов диагностирования, при которых затраты на их реализацию будут уменьшены

(задача минимизации в некоторых случаях может быть сильно затруднена, например, трудностями вычисления).

Эффективность диагностирования оценивается качеством алгоритмов диагностирования и качеством средств диагностирования. Средства диагностирования разделяют, прежде всего, на программные и аппаратные, а так же внешние (конструктивно выполненные отдельно от системы) и встроенные (являющиеся составной частью системы); ручными, автоматизированными и автоматическими; специализированными и универсальными.

Методы диагностирования АСУ определяются различными факторами: выбором объекта диагностирования (узла, блока, элемента и т. п.).

Используемыми диагностическими параметрами (временные, силовые, электрические, виброакустические и др.) в зависимости от используемых средств диагностирования.

Широко применяется при диагностировании метод контрольных осциллограмм. Метод основан на использовании графиков функции различных параметров во времени, по которым оцениваются техническое состояние и работоспособность отдельных узлов, блоков и системы в целом.

Суть метода заключается в следующем. Составляют диагностическую модель, определяют диагностическую ценность разных параметров, оценивают трудоемкость использования параметров для диагностирования, предварительно определяют диагностические параметры, экспериментально проверяют чувствительность к дефектам и диагностическую ценность параметров, выбирают основные диагностические параметры для контрольной осциллограммы, определяют внешний вид и характерные особенности кривых выбранных параметров, амплитудные значения и допустимые пределы для кривых основных параметров, составляют и экспериментально проверяют контрольные осциллограммы, выявляют взаимосвязь между характерными признаками кривых и состоянием обследуемых объектов, накапливают и расшифровывают дефекты, составляют диагностические карты и инструкции для выполнения диагностирования.

Метод контрольных осциллограмм может быть реализован как средствами приборной диагностики, так и с помощью ЭВМ в автоматическом режиме. Использовать метод целесообразно также на специализированных испытательных стендах для контроля качества изготовления механизмов и узлов станков и в условиях эксплуатации.

Эффективность процессов диагностирования во многом определяется программными средствами системы.

Лабораторная работа № 1

Расчет критериев надежности для невосстанавливаемых систем

Часть 1

Задача 1

Пусть на испытании находилось N_0 образцов невосстанавливаемой системы. Через промежуток времени t часов отказало R образцов. Требуется определить вероятность безотказной работы $P(t)$. Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_0	1000	1200	2000	3000	4000	5000	1500	2500	4500	3500
t , ч	100	200	300	250	400	150	120	450	230	220
R	200	150	400	250	500	400	300	200	120	230

Задача 2

Пусть на испытании находилось N_0 образцов невосстанавливаемой системы. Через промежуток времени t часов отказало R образцов. Требуется определить вероятность отказов $Q(t)$. Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_0	1250	1300	2400	2500	4100	5400	1500	2500	4800	3700
t , ч	140	100	330	250	420	180	120	500	250	240
R	300	250	400	270	504	420	300	100	100	300

Задача 3

Пусть на испытании находилось N_0 образцов невосстанавливаемой системы. Вероятность безотказной работы систем за t часов $P(t)$. Определить вероятность отказов систем за t часов. Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_0	1250	1300	2400	2500	4100	5400	1500	2500	4800	3700
t , ч	140	100	330	250	420	180	120	500	250	240
$P(t)$	0,5	0,67	0,7	0,72	0,8	0,81	0,83	0,87	0,9	0,93

Задача 4

Пусть на испытании находилось N_0 образцов невосстанавливаемой системы. Через промежуток времени t часов отказало R образцов. Требуется определить частоту отказов $a(t)$. Исходные данные приведены в таблице 4.

Таблица 4

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_0	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	1500	1550	1900
$t, \text{ч}$	180	190	200	210	250	230	300	250	150	220
R	200	100	50	70	85	78	30	90	120	130

Задача 5

Пусть на испытании находилось 1500 образцов невосстанавливаемой системы. Через промежуток времени 250 часов отказало 300 образцов. Требуется определить интенсивность отказов $\lambda(t)$.

Задача 6

Пусть на испытании находилось 1000 образцов некоторой невосстанавливаемой системы, и отказы фиксировались через каждые 100 часов работы, результаты представлены в таблице 5. Требуется определить: вероятность безотказной работы, вероятность отказов, интенсивность отказов и частоту отказов на каждом участке времени, а также построить графики зависимости всех вышеперечисленных параметров от времени.

Таблица 5

Результаты испытаний

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\Delta t, \text{ч}$	$R, \text{штук}$									
0-100	50	60	40	75	85	80	35	45	40	73
100-200	40	48	32	60	68	64	28	39	33	65
200-300	32	38	26	48	54	51	22	32	25	50
300-400	25	30	20	38	43	40	18	25	21	45
400-500	20	24	16	30	34	32	14	22	18	29
500-600	17	20	14	26	29	27	12	21	17	25
600-700	16	19	13	24	27	26	11	16	15	23
700-800	16	19	13	24	27	26	11	16	14	23
800-900	15	18	12	23	26	24	11	17	12	23
900-1000	14	17	11	21	24	22	10	14	11	22
1000-1100	15	18	12	23	26	24	11	15	12	24
1100-1200	14	17	11	21	24	22	10	14	11	22
1200-1300	14	17	11	21	24	22	10	12	11	22

1300-1400	13	16	10	20	22	21	9	13	10	20
1400-1500	14	17	11	21	24	22	10	15	11	22
1500-1600	13	16	10	20	22	21	9	14	10	20
1600-1700	13	16	10	20	22	21	9	13	10	20
1700-1800	13	16	10	20	22	21	9	13	10	21
1800-1900	14	17	11	21	24	22	10	14	11	22
1900-2000	12	14	10	18	20	19	8	11	9	19
2000-2100	12	14	10	18	20	19	8	11	9	19
2100-2200	13	16	10	20	22	21	9	11	9	21
2200-2300	12	14	10	18	20	19	8	12	10	19
2300-2400	13	16	10	20	22	21	9	13	10	21
2400-2500	14	17	11	21	24	22	10	14	11	22
2500-2600	16	19	13	24	27	26	11	16	13	28
2600-2700	20	24	16	30	34	32	14	21	16	34
2700-2800	25	30	20	38	43	40	18	26	20	39
2800-2900	30	36	24	45	51	48	21	29	25	45
2900-3000	40	48	32	60	68	64	28	40	33	63

Задача 7

В процессе эксплуатации 1000 систем учитывалось число отказов каждые 100 часов, результаты представлены в таблице 6. Определите среднее время исправной работы за: а) 900 часов; б) 600 часов; в) 300 часов.

Таблица 6

Результаты эксплуатации

$\Delta t, \text{ч}$	0	100	200	300	400	500	600	700	800
----------------------	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

	100	200	300	400	500	600	700	800	900
R	20	25	35	50	30	50	40	45	47

Задача 8

Какова вероятность безотказной работы системы в начальный момент времени?

Задача 9

На испытание поставлено N_0 образцов. За период времени t часов произошло R_c сбоев. Необходимо определить вероятность безотказной работы образцов. Результаты испытаний представлены в таблице 7.

Таблица 7

Результаты испытаний

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_0	100	200	230	150	220	120	130	140	150	120
t , ч	10	20	40	30	50	15	30	60	50	12
R_c	5	10	12	16	20	25	20	2	5	7

Задача 10

На испытание поставлено 5 образцов. Первый проработал безотказно 1 час, второй 3 часа, третий 2 часа, четвертый 4 часа, пятый 1 час. Необходимо определить среднее время безотказной работы.

Пример выполнения лабораторной работы № 1.

Решим первый вариант задачи. Определим сначала вероятность безотказной работы для всех отрезков времени:

$$P(t) = \frac{(N_0 - R(t))}{N_0},$$

где N_0 - количество образцов в начальный момент времени;

$R(t)$ - количество отказов образцов.

$$P(100) = \frac{(1000 - 50)}{1000} = 0,95,$$

$$P(200) = \frac{(1000 - 90)}{1000} = 0,91,$$

.....

$$P(3000) = \frac{(1000 - 575)}{1000} = 0,425.$$

На основании полученных результатов строим график зависимости безотказной работы системы от времени (рисунок 1).

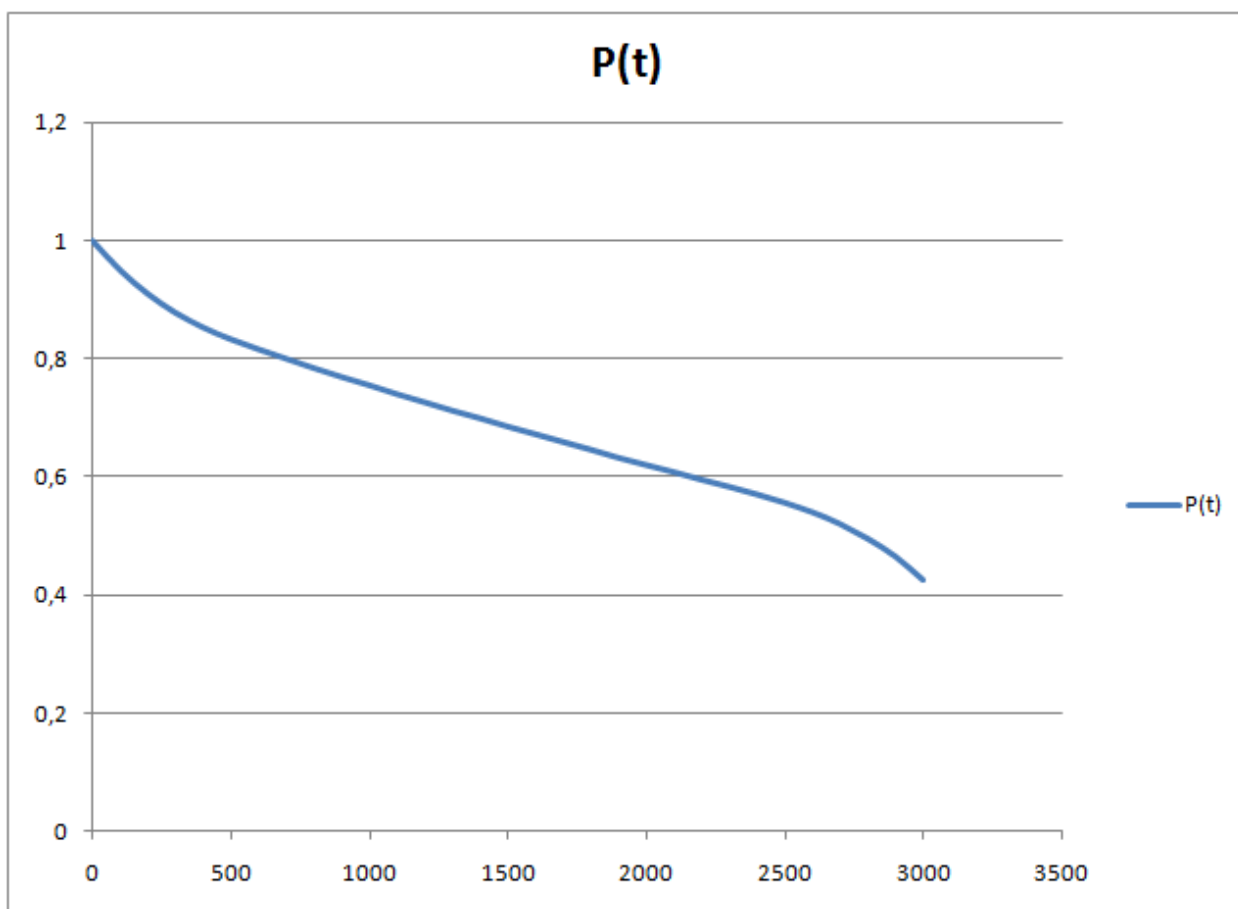


Рисунок 1 – Зависимость вероятности безотказной работы системы от времени

Затем рассчитаем вероятность отказа:

$$Q(t) = 1 - P(t),$$

$$Q(100) = 1 - 0,95 = 0,05,$$

$$Q(200) = 1 - 0,91 = 0,09,$$

.....

$$Q(3000) = 1 - 0,425 = 0,575.$$

По полученным данным строится график зависимости вероятности отказов системы от времени (рисунок 2).

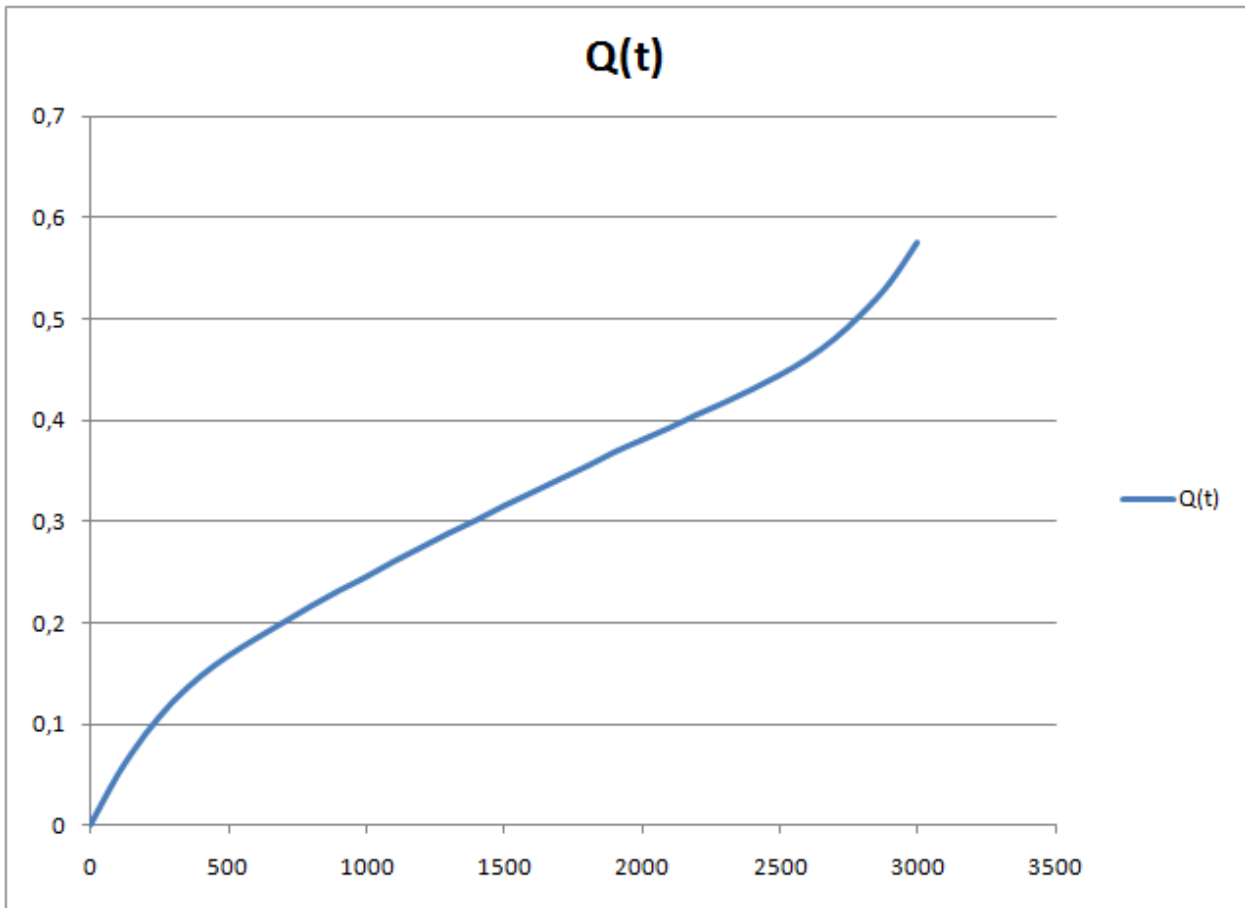


Рисунок 2 – Зависимость вероятности отказов системы от времени

Теперь определим частоту отказов системы на отрезках времени:

$$a(t) = \frac{R(t)}{N_0 \Delta t},$$

$$a(50) = \frac{50}{1000 * 100} = 0,5 * 10^{-3} \text{ ч}^{-1},$$

$$a(150) = \frac{40}{1000 * 100} = 0,4 * 10^{-3} \text{ ч}^{-1},$$

$$a(2950) = \frac{40}{1000 * 100} = 0,4 * 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

По полученным данным строится график зависимости частоты отказов системы от времени (рисунок 3).

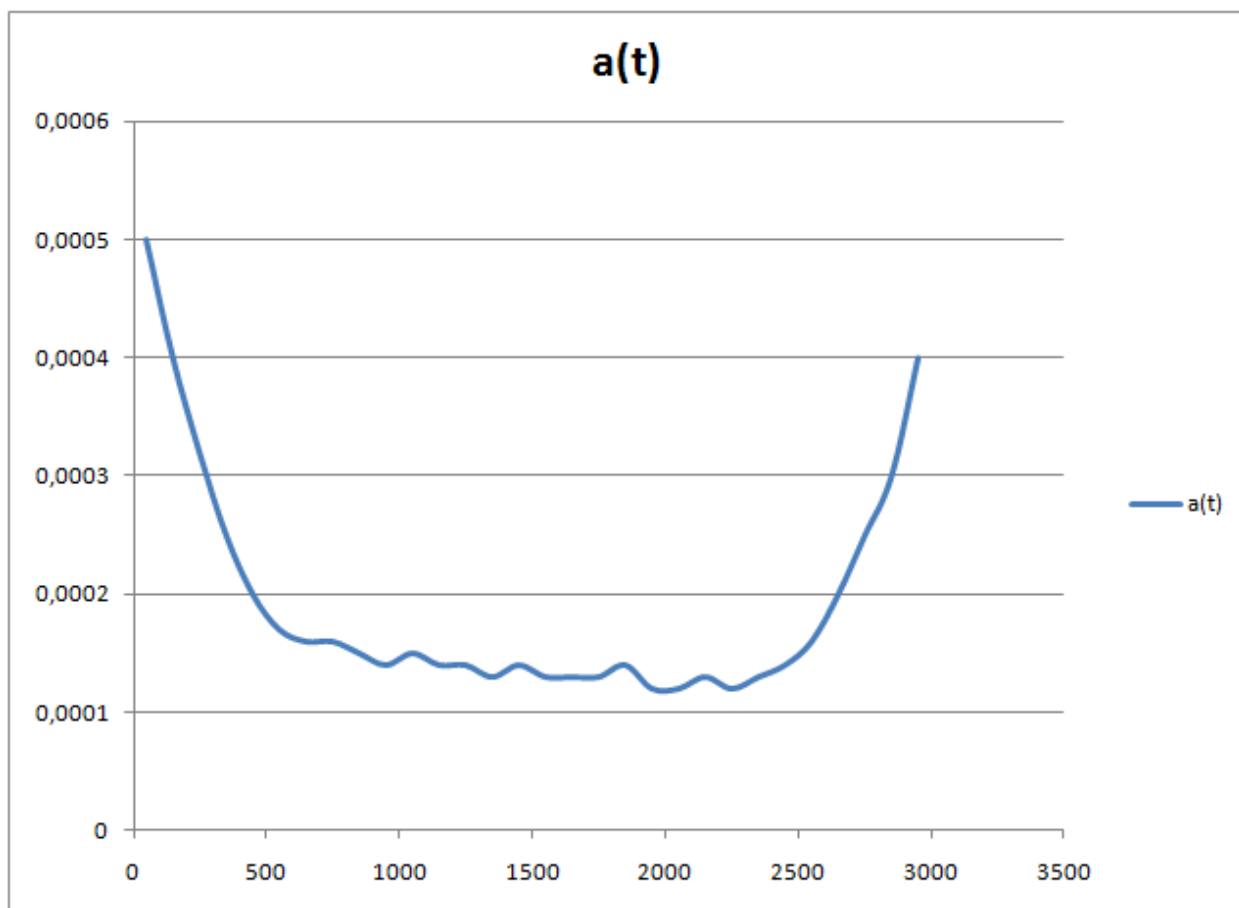


Рисунок 3 - Зависимость частоты отказов системы от времени

Теперь определим интенсивность отказов на отрезках на отрезках времени:

$$\lambda(t) = \frac{R(t)}{N_{CP} \Delta t},$$

$$\lambda(50) = \frac{50}{\frac{1000 + 950}{2} * 100} = 0,514 * 10^{-3} \text{ ч}^{-1},$$

$$\lambda(150) = \frac{40}{\frac{950+910}{2} * 100} = 0,43 * 10^{-3} \text{ ч}^{-1},$$

.....

Построим график зависимости интенсивности отказов системы от времени (рисунок 4).

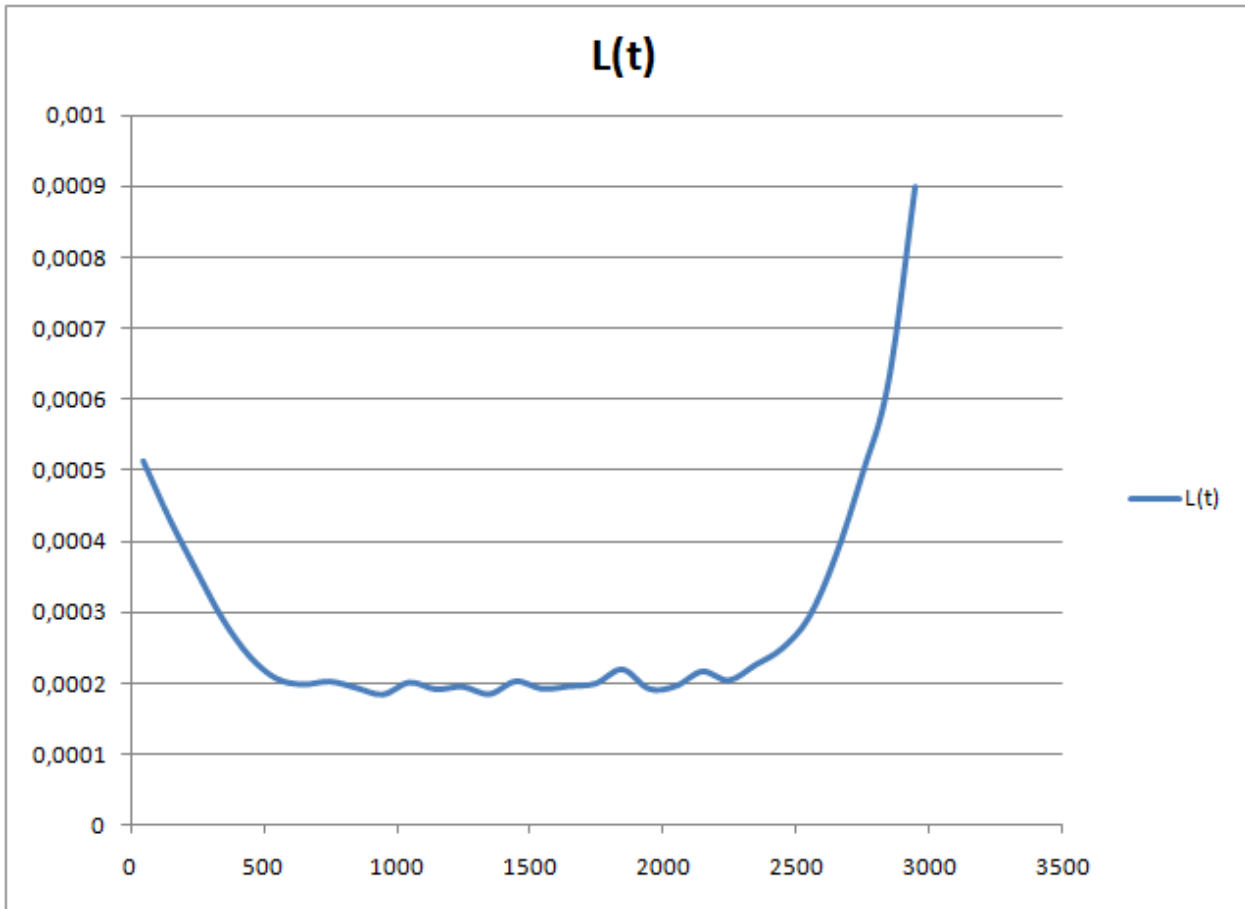


Рисунок 4 - Зависимость интенсивности отказов системы от времени

Лабораторная работа № 2

Расчет критериев надежности для невосстанавливаемых систем

Часть 2

Задача 1

Определить средний срок сохраняемости, если интенсивность отказов при хранении λ_c (Таблица 1).

Таблица 1

Значения интенсивности отказов при хранении

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_c * 10^{-2}$ ч	0,1	0,12	0,13	0,11	0,18	0,14	0,15	0,16	0,17	0,19

Задача 2

Пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 500 часов $p(500)=0,71$ и вероятность безотказной работы элемента за 1000 часов $p(1000)=0,56$. Необходимо определить вероятность безотказной работы элемента, проработавшего 500 часов, за промежуток времени от 500 до 1000 часов.

Задача 3

Пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 300 часов $p(300)=0,8$ и вероятность безотказной работы элемента за 1200 часов $p(1200)=0,5$. Необходимо определить вероятность безотказной работы элемента, проработавшего 900 часов, за промежуток времени от 300 до 1200 часов.

Задача 4

Пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 120 часов $p(120)=0,9$ и вероятность безотказной работы элемента за 300 часов $p(300)=0,45$. Требуется определить вероятность отказа за интервал времени от 120 до 300 часов.

Задача 5

Имеется система, состоящая из 5 последовательно соединенных элементов с вероятностями безотказной работы за период времени 2000 часов соответственно 0,65; 0,78; 0,85; 0,8; 0,9. Необходимо определить вероятность безотказной работы системы за период времени 2000 часов.

Задача 6

Имеется система, состоящая из 3 последовательно соединенных элементов с вероятностями безотказной работы за период времени 1000 часов

соответственно 0,7; 0,82; 0,8. Необходимо определить вероятность безотказной работы системы за период времени 1000 часов.

Задача 7

Определите вероятность отказов системы, состоящей из 4 последовательно соединенных элементов с вероятностью безотказной работы 0,87 за период времени 300 часов.

Задача 8

Определите вероятность безотказной работы системы, состоящей из 3 последовательно соединенных элементов с вероятностью безотказной работы 0,87 за период времени 100 часов.

Задача 9

Имеется система, состоящая из пяти независимых последовательно соединенных элементов. Каждый из элементов имеет экспоненциальное распределение времени безотказной работы с параметрами $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ и λ_5 . Значения интенсивностей отказов элементов представлены в таблице 2. Определите вероятность безотказной работы системы.

Таблица 2

Значения интенсивности отказов элементов и времени наработки

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_1, \text{ч}^{-1}$	0,05	0,02	0,01	0,03	0,01	0,07	0,09	0,06	0,05	0,04
$\lambda_2, \text{ч}^{-1}$	0,03	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08	0,02	0,01	0,01	0,07
$\lambda_3, \text{ч}^{-1}$	0,1	0,09	0,02	0,05	0,08	0,03	0,12	0,11	0,09	0,06
$\lambda_4, \text{ч}^{-1}$	0,02	0,01	0,02	0,01	0,1	0,04	0,11	0,04	0,02	0,03
$\lambda_5, \text{ч}^{-1}$	0,06	0,08	0,04	0,02	0,09	0,06	0,04	0,07	0,06	0,05
$t, \text{ч}$	0,5	0,4	0,8	0,9	1	1	1	0,6	0,7	0,9

Задача 10

Имеется система, состоящая из трех независимых последовательно соединенных элементов. Каждый из элементов имеет экспоненциальное распределение времени безотказной работы с параметрами λ_1, λ_2 и λ_3 . Значения интенсивностей отказов элементов представлены в таблице 3. Определите вероятность отказов системы.

Таблица 2

Значения интенсивности отказов элементов и времени наработки

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_1, \text{ч}^{-1}$	0,06	0,02	0,04	0,03	0,01	0,07	0,09	0,06	0,08	0,04
$\lambda_2, \text{ч}^{-1}$	0,03	0,06	0,05	0,07	0,02	0,08	0,02	0,04	0,01	0,03

$\lambda_3, \text{ч}^{-1}$	0,12	0,09	0,02	0,05	0,08	0,03	0,13	0,11	0,09	0,06
t, ч	0,6	0,3	0,6	0,9	0,7	0,8	0,4	0,6	0,7	1

Основные соотношения, необходимые для расчетов

$p(t_1, t_2) = \frac{P(t_2)}{P(t_1)}$ - условная вероятность безотказной работы

$p(t) = e^{-\lambda t}$ - экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы

$P_N(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t)$ - вероятность безотказной работы системы N элементов

$P_N(t) = (p(t))^N$ - вероятность безотказной работы системы N элементов с одинаковой вероятностью безотказной работы.

$T_{x.c.} = \frac{1}{\lambda_c}$ - средний срок сохраняемости

λ_c – интенсивность отказов при хранении

Пример выполнения лабораторной работы № 2.

Задача 1 определить средний срок сохраняемости, если интенсивность отказов при хранении $\lambda_c = 0,15$.

$$T_{xc} = \frac{1}{\lambda_c} = 6,66$$

Задача 2 пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 500 часов $p(500)=0,71$ и вероятность безотказной работы элемента за 1000 часов $p(1000)=0,56$. Необходимо определить вероятность безотказной работы элемента, проработавшего 500 часов, за промежуток времени от 500 до 1000 часов.

$$p(t_1, t_2) = \frac{p(t_2)}{p(t_1)} = \frac{0,56}{0,71} = 0,788$$

Задача 3 пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 300 часов $p(300)=0,8$ и вероятность безотказной работы элемента за 1200 часов $p(1200)=0,5$. Необходимо определить вероятность безотказной работы элемента, проработавшего 900 часов, за промежуток времени от 300 до 1200 часов.

$$p(t_1, t_2) = \frac{p(t_2)}{p(t_1)} = \frac{0,5}{0,8} = 0,625$$

Задача 4 пусть нам известны вероятность безотказной работы элемента за 120 часов $p(120)=0,9$ и вероятность безотказной работы элемента за 300 часов $p(300)=0,45$. Требуется определить вероятность отказа за интервал времени от 120 до 300 часов.

$$p(t_1, t_2) = \frac{p(t_2)}{p(t_1)} = \frac{0,45}{0,9} = 0,5$$

Задача 5 имеется система, состоящая из 5 последовательно соединенных элементов с вероятностями безотказной работы за период времени 2000 часов соответственно 0,65; 0,78; 0,85; 0,8; 0,9. Необходимо определить вероятность безотказной работы системы за период времени 2000 часов.

$$p(t) = \prod_{i=0}^N p_i(t) = 0,65 * 0,78 * 0,85 * 0,8 * 0,9 = 0,31$$

Задача 6 имеется система, состоящая из 3 последовательно соединенных элементов с вероятностями безотказной работы за период времени 1000 часов соответственно 0,7; 0,82; 0,8. Необходимо определить вероятность безотказной работы системы за период времени 1000 часов.

$$p(t) = \prod_{i=0}^N p_i(t) = 0,7 * 0,82 * 0,8 = 0,45$$

Задача 7 определите вероятность отказов системы, состоящей из 4 последовательно соединенных элементов с вероятностью безотказной работы 0,87 за период времени 300 часов.

$$p(t) = [p(t)]^N = 0,87^4 = 0,57$$

Задача 8 определите вероятность безотказной работы системы, состоящей из 3 последовательно соединенных элементов с вероятностью безотказной работы 0,87 за период времени 100 часов.

$$p(t) = [p(t)]^N = 0,87^3 = 0,658$$

Задача 9 имеется система, состоящая из пяти независимых последовательно соединенных элементов. Каждый из элементов имеет экспоненциальное распределение времени безотказной работы с параметрами $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ и λ_5 . Определите вероятность безотказной работы системы.

$$p(t) = e^{-\lambda t} = 0,683$$

Задача 10 имеется система, состоящая из трех независимых последовательно соединенных элементов. Каждый из элементов имеет экспоненциальное распределение времени безотказной работы с параметрами λ_1, λ_2 и λ_3 . Определите вероятность отказов системы.

$$p(t) = e^{-\lambda t} = 0,908$$

Лабораторная работа № 3

Расчет критериев надежности для невосстанавливаемых систем Часть 3

Задача 1

Поставлено 100 систем на восстановление, из них только 50 систем восстановилось менее чем за 30 часов, а время восстановления остальных систем составило больше 30 часов. Определить вероятность восстановления систем за 30 часов.

Задача 2

Поставлено 150 систем на восстановление, из них только 60 систем восстановилось менее чем за 20 часов, а время восстановления остальных систем составило больше 20 часов. Определить вероятность того, что восстановление систем не произойдет за 20 часов.

Задача 3

Вероятность безотказной работы системы за 200 часов составляет 0,94, интенсивность отказа составляет $\lambda(200)=0,29 \cdot 10^{-3}$ час⁻¹. Определите частоту отказа системы за 200 часов.

Задача 4

Вероятность безотказной работы системы за 250 часов составляет 0,96. Определите частоту отказа системы за 250 часов.

Задача 5

Интенсивность отказа составляет $\lambda(300)=0,33 \cdot 10^{-3}$ час⁻¹. Определите частоту отказа системы за 300 часов.

Задача 6

В результате эксплуатации N_0 образцов системы было зафиксировано R неисправностей. При этом каждый из испытываемых образцов исправно проработал t часов. Необходимо определить среднее время между соседними отказами. Результаты эксплуатации представлены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_0	36	40	35	40	35	37	38	41	42	39
R	231	240	260	250	235	255	236	237	248	245
$t, \text{ч}$	19	20	25	20	17	18	22	23	24	21

Задача 7

Определите общую интенсивность отказов, если первая группа однотипных по надёжности элементов состоит из 2 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_1(t)=0,2*10^{-3}$ час⁻¹, вторая группа состоит из 4 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_2(t)=0,3*10^{-3}$ час⁻¹, а третья группа из 3 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_3(t)=0,4*10^{-3}$ час⁻¹.

Задача 8

Определите общую интенсивность отказов, если первая группа однотипных по надёжности элементов состоит из 5 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_1(t)=0,4*10^{-3}$ час⁻¹, вторая группа состоит из 3 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_2(t)=0,6*10^{-3}$ час⁻¹, а третья группа из 4 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_3(t)=0,2*10^{-3}$ час⁻¹.

Задача 9

Частота отказов системы $a(t)$, система состоит из N_0 элементов. Определите, сколько элементов откажет за время t . Значения частоты отказов, количества элементов и время указаны в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$a(t)*10^{-4}$, ч ⁻¹	0,25	0,24	0,26	0,3	0,4	0,35	0,5	0,6	0,7	0,2
N_0	100	120	130	140	150	100	120	90	80	110
t , ч	400	500	300	200	250	350	500	600	700	550

Задача 10

Интенсивность отказов системы $\lambda(t)$. Определите среднее время безотказной работы системы. Значения интенсивностей отказов систем приведены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda(t)*10^{-3}$, ч ⁻¹	0,2	0,25	0,27	0,23	0,26	0,22	0,3	0,18	0,17	0,24

Основные соотношения, необходимые для расчетов

$$S(t) = \frac{N_B(t)}{N_{0B}} - \text{вероятность восстановления систем за время } t$$

$a(t) = -P'(t)$ - частота отказа системы за время t ; определяется как производная вероятности безотказной работы с обратным знаком

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r} - \text{среднее время между соседними отказами}$$

r – число отказов системы за время t

t_i – время исправной работы системы между $(i-1)$ -м и i -м отказами

$\Lambda = N_1 \lambda_1 + N_2 \lambda_2 + \dots + N_s \lambda_s$ - общая интенсивность отказов

s – число групп однотипных по надёжности элементов системы

N_i – число элементов i -й группы

λ_i – интенсивность отказов элементов i -й группы

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt - \text{среднее время безотказной работы}$$

Пример выполнения лабораторной работы № 3.

Задача 1

Поставлено 100 систем на восстановление, из них только 50 систем восстановилось менее чем за 30 часов, а время восстановления остальных систем составило больше 30 часов. Определить вероятность восстановления систем за 30 часов.

Решение:

$$S(t) = \frac{N_B(t)}{N_{OB}} = \frac{50}{100} = 0,5$$

Вероятность восстановления систем за 30 часов равна 0,5.

Задача 2

Поставлено 150 систем на восстановление, из них только 60 систем восстановилось менее чем за 20 часов, а время восстановления остальных систем составило больше 20 часов. Определить вероятность того, что восстановление систем не произойдёт за 20 часов.

Решение:

$$S(t) = \frac{N_B(t)}{N_{0B}} = \frac{60}{150} = 0,4$$

Вероятность того, что восстановление систем не произойдет за 30 часов, равна 0,4.

Задача 3

Вероятность безотказной работы системы за 200 часов составляет 0,94, интенсивность отказа составляет $\lambda(200) = 0,29 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$. Определите частоту отказа системы за 200 часов.

Решение:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

$$P'(t) = -\lambda t \cdot e^{-\lambda t}$$

$$a(t) = -P'(t) = \lambda t \cdot e^{-\lambda t} = 0,29 \cdot 10^{-3} \cdot 200 \cdot e^{0,29 \cdot 10^{-3} \cdot 200} = 0,058 \cdot e^{0,058}$$

Частота отказа системы за 200 часов равна $0,058 \cdot e^{0,058}$.

Задача 4

Вероятность безотказной работы системы за 250 часов составляет 0,96. Определите частоту отказа системы за 250 часов.

Решение:

$$P(t) = \frac{(N_0 - R(t))}{N_0} \quad a(t) = \frac{R(t)}{N_0 \cdot \Delta t}$$

Выразим $R(t)$ через $P(t)$ и подставим в уравнение $a(t)$:

$$R(t) = (1 - P(t)) \cdot N_0$$

$$a(t) = \frac{(1 - P(t)) \cdot N_0}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{1 - P(t)}{\Delta t} = \frac{1 - 0,96}{250} = \frac{0,04}{250} = 0,00016$$

Частота отказа системы за 250 часов равна 0,00016.

Задача 5

Интенсивность отказа составляет $\lambda(300) = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$. Определите частоту отказа системы за 300 часов.

Решение:

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

$$P'(t) = -\lambda t \cdot e^{-\lambda t}$$

$$\begin{aligned} a(t) = -P'(t) &= \lambda t \cdot e^{-\lambda t} = 0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 300 \cdot e^{0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 300} = \\ &= 0,099 \cdot e^{0,099} \end{aligned}$$

Частота отказа системы за 300 часов равна $0,099 \cdot e^{0,099}$.

Задача 6

В результате эксплуатации $N_0=37$ образцов системы было зафиксировано $R=255$ неисправностей. При этом каждый из испытываемых образцов исправно проработал $t=18$ часов. Необходимо определить среднее время между соседними отказами.

Решение:

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r} = \frac{37 \cdot 18}{255} = 2,613$$

Среднее время между соседними отказами $T_{cp}=2,613$.

Задача 7

Определите общую интенсивность отказов, если первая группа однотипных по надежности элементов состоит из 2 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_1(t) = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$, вторая группа состоит из 4 элементов с интенсивностью

отказов $\lambda_2(t) = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$, а третья группа из 3 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_3(t) = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$.

Решение:

$$\Lambda = N_1\lambda_1 + N_2\lambda_2 + N_3\lambda_3 = 2 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = \\ = 0,4 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 10^{-3} = 2,8 \cdot 10^{-3}$$

Общая интенсивность отказов равна $2,8 \cdot 10^{-3}$.

Задача 8

Определите общую интенсивность отказов, если первая группа однотипных по надежности элементов состоит из 5 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_1(t) = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$, вторая группа состоит из 3 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_2(t) = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$, а третья группа из 4 элементов с интенсивностью отказов $\lambda_3(t) = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ час}^{-1}$.

Решение:

$$\Lambda = N_1\lambda_1 + N_2\lambda_2 + N_3\lambda_3 = 5 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 0,6 \cdot 10^{-3} + 4 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = \\ = 2 \cdot 10^{-3} + 1,8 \cdot 10^{-3} + 0,8 \cdot 10^{-3} = 4,6 \cdot 10^{-3}$$

Общая интенсивность отказов равна $4,6 \cdot 10^{-3}$.

Задача 9

Частота отказов системы $a(t) = 0,35 \cdot 10^{-4} \text{ час}^{-1}$, система состоит из $N_0 = 100$ элементов. Определите, сколько элементов откажет за время $t = 350$ ч.

Решение:

$$a(t) = \frac{R(t)}{N_0 \cdot \Delta t}$$

$$R(t) = a(t) \cdot N_0 \cdot \Delta t = 0,35 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 350 = 12250 \cdot 10^{-4}$$

За время $t=350$ ч откажет $12250 \cdot 10^{-4}$ элемента.

Задача 10

Интенсивность отказов системы $\lambda(t) = 0,22 \cdot 10^{-3}$. Определите среднее время безотказной работы системы.

Решение:

$$p(t) = 1 - \lambda \cdot t$$

$$\begin{aligned} T_{cp} &= \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} (1 - 0,22 \cdot 10^{-3} t) dt = \int_0^{\infty} dt - \int_0^{\infty} 0,22 \cdot 10^{-3} t dt = \\ &= t - 0,22 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 \cdot 0,5 = t - 0,11 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 \end{aligned}$$

Лабораторная работа № 4

Расчет критериев надежности для восстанавливаемых систем

Задача 1

На испытании находилось 4 системы, фиксировались отказы и время, затраченное на восстановление работоспособного состояния систем, результаты испытаний приведены в таблице 1. Определить среднее время восстановления для 4 систем.

Таблица 1

Исходные данные

№ системы	Номер отказа									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время, затраченное на восстановление работоспособности системы, ч										
1	28	2	5	4	7	3	2	1	6	4
2	13	2	10	3	8	5	3	12	9	5
3	17	3	4	2	1	8	6	4	9	14
4	12	1	2	6	5	3	2	15	3	1

Задача 2

На испытание поставлено 1000 систем. За 100 часов произошло 100 отказов. Определите среднюю частоту отказов за 100 часов.

Задача 3

На испытание поставлено 500 систем. За 80 часов произошло 100 отказов. Определите среднюю частоту отказов за 80 часов.

Задача 4

Интенсивность ремонта системы $\mu = 0,256 * 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите ремонтпригодность системы за 1 час, если известно, что мы имеем дело с экспоненциальным законом распределения времени ремонта.

Задача 5

Интенсивность ремонта системы $\mu = 0,256 * 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите ремонтпригодность системы за 2 часа, если известно, что мы имеем дело с экспоненциальным законом распределения времени ремонта.

Задача 6

Определите среднее время восстановления, если известно среднее время контроля, среднее время поиска дефекта и среднее время устранения дефекта (таблица 2).

Таблица 2

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_k , ч	10	9	8	7	11	12	10	6	11	15
T_D , ч	4	2	3	4	5	5	3	3	2	5
$T_{\text{уср.Д}}$, ч	2	1	3	3	1	2	3	2	3	5

Эксплуатационные критерии надежности системы

Задача 7

Определите коэффициент готовности, если время безотказной работы системы t_p часов, а время восстановления системы t_b часов. Значения времени безотказной работы системы и времени ее восстановления представлены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_p , ч	100	80	67	56	66	55	80	87	45	72
t_b , ч	20	10	15	16	9	5	14	11	6	7

Задача 8

Среднее число исправных комплектов 25, общее число комплектов системы 100 штук. Определите коэффициент готовности.

Задача 9

Коэффициент готовности системы K_G , а вероятность безотказной работы системы $P(t)$. Определите коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$. Значения коэффициента готовности системы и вероятности безотказной работы системы представлены в таблице 4.

Таблица 4

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_G	0,6	0,7	0,65	0,72	0,68	0,77	0,75	0,74	0,8	0,82
$P(t)$	0,85	0,89	0,82	0,9	0,79	0,76	0,72	0,65	0,92	0,56

Задача 10

Определите коэффициент вынужденного простоя, если время безотказной работы системы 20 часов, а время восстановления системы 5 часов.

Задача 11

Коэффициент готовности системы K_G . Определите коэффициент вынужденно простоя. Значения коэффициента готовности системы представлены в таблице 5.

Таблица 5

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K_G	0,6	0,5	0,8	0,78	0,55	0,65	0,82	0,54	0,45	0,73

Задача 12

Определите коэффициент профилактики, если время безотказной работы системы 15 часов, а время восстановления системы 5 часов.

Задача 13

Определите коэффициент профилактики, если время безотказной работы системы 20 часов, а время восстановления системы 10 часов.

Задача 14

Определите эффективность профилактики системы W , если известна наработка на отказ профилактируемой системы $T_{пф}$ часов и наработка на отказ непрофилактируемой системы $T_{нпф}$ часов. Значения наработки на отказ профилактируемой системы и непрофилактируемой системы представлены в таблице 6.

Таблица 6

Исходные данные

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{пф}, ч$	100	150	200	100	250	400	300	350	100	450
$T_{нпф}, ч$	50	100	100	50	110	100	150	50	10	200

Задача 15

Число отказов непрофилактируемой системы за 100 часов эксплуатации $N_{нпф}=50$, число отказов профилактируемой системы за 100 часов эксплуатации $N_{пф}=10$. Определите эффективность профилактики.

Задача 16

Система состоит из 200 элементов, элементов i -го типа 50 штук. Всего произошло 30 отказов, из них элементов i -го типа наблюдалось 5 отказов. Определите относительный коэффициент отказов.

Задача 17

Стоимость изготовления системы составляет 100000 руб., а стоимость эксплуатации системы в течение одного года составляет 1000 руб. Определите коэффициент стоимости эксплуатации.

Задача 18

Стоимость изготовления системы составляет 500000 руб., а стоимость эксплуатации системы в течение одного года составляет 10000 руб. Определите коэффициент стоимости эксплуатации.

Основные соотношения, необходимые для расчетов

Средняя частота отказов

$$\omega(t) = \frac{R(t)}{N_0 \Delta t}.$$

Среднее время восстановления

$$T_B = T_K + T_{II} + T_V;$$

T_K - среднее время контроля;

T_{II} - среднее время поиска дефекта;

T_V - среднее время устранения дефекта;

$$T_B = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \tau_i;$$

τ_i - время, затраченное на восстановление i -го отказа.

Ремонтопригодность

Вероятность восстановления системы в заданное время.

$$P(\tau) = 1 - e^{(-\mu \tau)};$$

μ - интенсивность ремонта системы.

Коэффициент готовности

Вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени кроме планируемых периодов, в течение которых применение системы по назначению не предусмотрено.

$$K_r = \frac{t_p}{t_p + t_B};$$

t_p - время безотказной работы системы;

t_B - время восстановления.

$$K_r = \frac{M_{cp.u}}{M};$$

$M_{cp.u}$ - среднее число исправных комплектов;

M - общее число комплектов системы.

Коэффициент оперативной готовности

Характеризует вероятность того, что система, находясь в режиме ожидания, окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени и, начиная с этого момента, будет безотказно работать в течение заданного интервала времени.

$$K_{ог} = K_r P(t);$$

Коэффициент вынужденного простоя

Отношение времени вынужденного простоя к сумме времени исправной работы и вынужденных простоев.

Отношение времени восстановления к сумме времени восстановления и безотказной работы системы.

$$K_{п} = \frac{\sum_{i=1}^z t_{Bi}}{\sum_{i=1}^z t_{pi} + \sum_{i=1}^z t_{Bi}};$$

$$K_{п} = 1 - K_r$$

Коэффициент профилактики

Отношение числа часов, которые были затрачены на профилактику и ремонт системы, ко времени его исправной работы, взятых за один и тот же календарный срок.

$$K_{п} = \frac{\sum_{i=1}^z t_{Bi}}{\sum_{i=1}^z t_{pi}}$$

Эффективность профилактики

Отношение наработки на отказ профилактируемой и не профилактируемой системы.

$$W = \frac{T_{\text{ПФ}}}{T_{\text{НПФ}}};$$

$T_{\text{ПФ}}$ - наработка на отказ профилактируемой системы;

$T_{\text{НПФ}}$ - наработка на отказ непрофилактируемой системы.

$$W = \frac{N_{\text{НПФ}}}{N_{\text{ПФ}}};$$

$N_{\text{ПФ}}$ - число отказов профилактируемой системы;

$N_{\text{НПФ}}$ - число отказов непрофилактируемой системы.

Относительный коэффициент отказов

Отношение процентов отказов системы вследствие выхода из строя элементов данного типа к проценту этих элементов в системе.

$$K_{\text{н.о.}} = \frac{r_i N}{RN_i};$$

r_i - число отказов системы, вызываемых элементами i -го типа;

N - общее число элементов в системе;

R - общее число отказов системы;

N_i - число элементов i -го типа системы.

Коэффициент стоимости эксплуатации

Отношение стоимости эксплуатации системы в течение одного года к стоимости изготовления системы.

$$K_{\text{с.э.}} = \frac{C_{\text{с.э.}}}{C_{\text{с.и.}}};$$

$C_{\text{с.э.}}$ - стоимость эксплуатации системы в течение одного года;

$C_{\text{с.и.}}$ - стоимость изготовления системы.

Пример выполнения лабораторной работы № 4.

Задача 1

На испытании находилось 4 системы, фиксировались отказы и время, затраченное на восстановление работоспособного состояния систем: 1 система – 3 ч., 2 система – 5 ч., 3 система – 8 ч., 4 система – 3 ч. Определить среднее время восстановления для 4 систем.

Решение:

$$T_B = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \tau_i = \frac{3+5+8+3}{4} = \frac{19}{4} = 4,75 \text{ ч.}$$

Задача 2

На испытание поставлено 1000 систем. За 100 часов произошло 100 отказов. Определите среднюю частоту отказов за 100 часов.

Решение:

$$\omega(t) = \frac{R(t)}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{100}{1000 \cdot 100} = 0,001$$

Задача 3

На испытание поставлено 500 систем. За 80 часов произошло 100 отказов. Определите среднюю частоту отказов за 80 часов.

Решение:

$$\omega(t) = \frac{R(t)}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{100}{500 \cdot 80} = 0,0025$$

Задача 4

Интенсивность ремонта системы $\mu = 0,256 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите ремонтпригодность системы за 1 час, если известно, что мы имеем дело с экспоненциальным законом распределения времени ремонта.

Решение:

$$P(t) = 1 - e^{(-\mu t)} = 1 - e^{(0,256 \cdot 10^{-3} \cdot 1)} = 0,254 \cdot 10^{-3}$$

Задача 5

Интенсивность ремонта системы $\mu = 0,256 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определите ремонтпригодность системы за 2 часа, если известно, что мы имеем дело с экспоненциальным законом распределения времени ремонта.

Решение:

$$P(t) = 1 - e^{(\mu t)} = 1 - e^{(0,256 \cdot 10^{-3} \cdot 2)} = 1 - e^{(0,512 \cdot 10^{-3})} = -0,509 \cdot 10^{-3}$$

Задача 6

Определите среднее время восстановления, если известно среднее время контроля $T_k = 12 \text{ ч.}$, среднее время поиска дефекта $T_d = 5 \text{ ч.}$, и среднее время устранения дефекта $T_{\text{устр.д.}} = 2 \text{ ч.}$

Решение:

$$T_B = T_k + T_d + T_{\text{устр.д.}} = 12 + 5 + 2 = 19 \text{ ч.}$$

Эксплуатационные критерии надежности системы

Задача 7

Определите коэффициент готовности, если время безотказной работы системы $t_p = 55 \text{ часов}$, а время восстановления системы $t_B = 5 \text{ часов}$.

Решение:

$$K_G = \frac{t_p}{t_p + t_B} = \frac{55}{55 + 5} = \frac{55}{60} = 0,92$$

Задача 8

Среднее число исправных комплектов 25, общее число комплектов системы 100 штук. Определите коэффициент готовности.

Решение:

$$K_G = \frac{M_{\text{сп.и.}}}{M} = \frac{25}{100} = 0,25$$

Задача 9

Коэффициент готовности системы $K_G = 0,77$, а вероятность безотказной работы системы $P(t) = 0,76$. Определите коэффициент оперативной готовности K_{OG} .

Решение:

$$K_{OG} = K_G * P(t) = 0,77 * 0,76 = 0,5852$$

Задача 10

Определите коэффициент вынужденного простоя, если время безотказной работы системы 20 часов, а время восстановления системы 5 часов.

Решение:

$$K_{II} = \frac{\sum t_B}{\sum t_P + \sum t_B} = \frac{5}{20 + 5} = \frac{5}{25} = 0,2$$

Задача 11

Коэффициент готовности системы $K_G = 0,65$. Определите коэффициент вынужденно простоя.

Решение:

$$K_{II} = 1 - K_G = 1 - 0,65 = 0,35$$

Задача 12

Определите коэффициент профилактики, если время безотказной работы системы 15 часов, а время восстановления системы 5 часов.

Решение:

$$K_{II} = \frac{\sum t_B}{\sum t_P} = \frac{5}{15} = 0,33$$

Задача 13

Определите коэффициент профилактики, если время безотказной работы системы 20 часов, а время восстановления системы 10 часов.

Решение:

$$K_{II} = \frac{\sum t_B}{\sum t_P} = \frac{10}{20} = 0,5$$

Задача 14

Определите эффективность профилактики системы W , если известна наработка на отказ профилактируемой системы $T_{пф}=400$ часов и наработка на отказ непрофилактируемой системы $T_{нпф}=100$ часов.

Решение:

$$W = \frac{T_{пф}}{T_{нпф}} = \frac{400}{100} = 4$$

Задача 15

Число отказов непрофилактируемой системы за 100 часов эксплуатации $N_{нпф}=50$, число отказов профилактируемой системы за 100 часов эксплуатации $N_{пф}=10$. Определите эффективность профилактики.

Решение:

$$W = \frac{N_{нпф}}{N_{пф}} = \frac{50}{10} = 5$$

Задача 16

Система состоит из 200 элементов, элементов i -го типа 50 штук. Всего произошло 30 отказов, из них элементов i -го типа наблюдалось 5 отказов. Определите относительный коэффициент отказов.

Решение:

$$K_{н.о} = \frac{r_i \cdot N}{R \cdot N_i} = \frac{5 \cdot 200}{30 \cdot 50} = 0,66$$

Задача 17

Стоимость изготовления системы составляет 100000 руб., а стоимость эксплуатации системы в течение одного года составляет 1000 руб. Определите коэффициент стоимости эксплуатации.

Решение:

$$K_{с.э} = \frac{C_{с.э}}{C_{с.и}} = \frac{1000}{100000} = 0,01$$

Задача 18

Стоимость изготовления системы составляет 500000 руб., а стоимость эксплуатации системы в течение одного года составляет 10000 руб. Определите коэффициент стоимости эксплуатации.

Решение:

$$K_{с.э.} = \frac{C_{с.э.}}{C_{с.и.}} = \frac{10000}{500000} = 0,02$$

Основные понятия и определения надежности

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Наука, изучающая закономерности возникновения отказов технических устройств	<ol style="list-style-type: none"> 1. Теория вероятности. 2. Теория надёжности. 3. Теория отказов. 4. Диагностирование.
2	Система, предназначенная для управления локальными объектами и процессами.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Система малого масштаба. 2. Система большого масштаба. 3. Система среднего масштаба. 4. Система локального масштаба.
3	Система, образованная из блоков, подсистем и локальных объектов, управление которыми осуществляется с помощью иерархической структуры.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Система малого масштаба. 2. Система большого масштаба. 3. Система среднего масштаба. 4. Система локального масштаба.
4	Свойство системы сохранять свои выходные характеристики (параметры) в определённых пределах при данных условиях эксплуатации за определённое время.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диагностика. 2. Эффективность. 3. Надёжность. 4. Стойкость.
5	Надёжность системы в экстремальных условиях (взрыв, пожар, затопление).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Диагностика. 2. Эффективность. 3. Живучесть. 4. Стойкость.
6	Вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени кроме планируемых периодов, в течение которых применение системы по назначению не предусмотрено.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Коэффициент готовности. 2. Коэффициент оперативной готовности. 3. Коэффициент вынужденного простоя. 4. Коэффициент профилактики.
7	Отношение времени вынужденного простоя к сумме времени исправной работы и вынужденных простоев.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Коэффициент готовности. 2. Коэффициент оперативной готовности. 3. Коэффициент вынужденного простоя. 4. Коэффициент профилактики.
8	Отношение числа часов, которые были затрачены на профилактику и ремонт системы, ко времени его исправной работы, взятых за один и тот же календарный срок.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Коэффициент готовности. 2. Коэффициент оперативной готовности. 3. Коэффициент вынужденного простоя. 4. Коэффициент профилактики.

Показатели надёжности автоматизированных технических систем

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ системы не возникает.	1. Надёжность. 2. Вероятность отказа. 3. Вероятность безотказной работы.
2	Чему равна вероятность безотказной работы при нулевой наработке.	1. 0 2. 1 3. ∞ 4. 0,5
3	Чему равна вероятность безотказной работы при бесконечной наработке.	1. 0 2. 1 3. ∞ 4. 0,5
4	Если вероятность безотказной работы равна 0,8, вероятность отказа равна.	1. 0,8 2. 0,1 3. 0,2 4. 0,4
5	Определите вероятность безотказной работы системы с последовательным соединением трёх элементов с вероятностями безотказной работы 0,8, 0,5 и 0,5.	1. 1,8 2. 0,8 3. 0,5 4. 0,2
6	Определите вероятность безотказной работы системы с параллельным соединением трёх элементов с вероятностями безотказной работы 0,8, 0,5 и 0,5.	1. 1,8 2. 0,8 3. 0,5 4. 0,2
7	Вероятность, того что в заданном интервале времени будут отсутствовать сбои системы или элементов.	1. Вероятность безотказной работы. 2. Вероятность бессбойной работы. 3. Вероятность восстановления. 4. Вероятность отказа.
8	Условная плотность вероятности отказа невосстанавливаемой системы, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.	1. Частота отказов. 2. Средняя частота отказов. 3. Интенсивность отказов. 4. Суммарная частота отказов.
9	Математическое ожидание времени исправной работы элементов.	1. Средняя наработка на отказ. 2. Время надёжной работы. 3. Нарботка. 4. Среднее время безотказной работы.
10	Среднее значение времени между соседними отказами, при условии восстановления каждого отказавшего элемента.	1. Средняя наработка на отказ. 2. Время надёжной работы. 3. Нарботка. 4. Среднее время безотказной работы.

Отказы в автоматизированных системах

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Событие, после появления которого, выходные характеристики системы выходят за допустимые пределы.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Механизм отказа. 2. Отказ. 3. Критерий отказа. 4. Признак отказа.
2	Классификация отказов по возможности прогнозирования места возникновения	<ol style="list-style-type: none"> 1. Закономерные и случайные. 2. Независимые и зависимые. 3. Внезапные и постепенные. 4. Конструктивные, технологические и эксплуатационные.
3	Классификация отказов по взаимосвязи между собой.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Закономерные и случайные. 2. Независимые и зависимые. 3. Внезапные и постепенные. 4. Конструктивные, технологические и эксплуатационные.
4	Классификация отказов по характеру процесса возникновения.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Закономерные и случайные. 2. Независимые и зависимые. 3. Внезапные и постепенные. 4. Конструктивные, технологические и эксплуатационные.
5	Классификация отказов по причине возникновения.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Закономерные и случайные. 2. Независимые и зависимые. 3. Внезапные и постепенные. 4. Конструктивные, технологические и эксплуатационные.
6	Классификация отказов по времени существования.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Закономерные и случайные. 2. Независимые и зависимые. 3. Окончательные, временные и перемежающиеся. 4. Конструктивные, технологические и эксплуатационные.
7	На каком этапе жизненного цикла системы отказы возникают по схемным и конструктивным причинам?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
8	На каком этапе жизненного цикла системы отказы возникают по причинам недоброкачественного сырья и полуфабрикатов?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
9	На каком этапе жизненного цикла системы отказы возникают из-за климатических условий и механических нагрузок, не соответствующих заданным?	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.

Методы повышения надёжности и эффективности автоматизированных систем

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	На каком этапе повышение надёжности обеспечивается выбором схемы.	1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
2	На каком этапе повышение надёжности обеспечивается выбором элементов и режимов их работы.	1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
3	На каком этапе повышение надёжности обеспечивается выбором конструктивного решения системы.	1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
4	На каком этапе повышение надёжности обеспечивается учётом психофизических возможностей операторов.	1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
5	На каком этапе повышение надёжности обеспечивается автоматизацией производства.	1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
6	На каком этапе повышение надёжности обеспечивается тренировкой элементов и систем.	1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
7	На каком этапе повышение надёжности обеспечивается настройкой и наладиванием систем.	1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
8	На каком этапе повышение надёжности обеспечивается текущим и выходным контролем.	1. Проектирование. 2. Производство. 3. Эксплуатация. 4. Утилизация.
9	Метод повышения надёжности, сопряжённый с увеличением веса, габаритов и стоимости системы.	1. Выбор наиболее надёжных элементов. 2. Стандартизация и унификация элементов. 3. Облегчение режимов работы элементов. 4. Резервирование и использование систем встроенного автоматического контроля.

Основные понятия и определения диагностирования

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объекта.	1. Техническая диагностика. 2. Контролепригодность. 3. Техническое состояние. 4. Система технического диагностирования.
2	Состояние, которое характеризуется в определённый момент времени при определённых условиях внешней среды значениями параметров, установленных технической документацией на объект.	1. Техническая диагностика. 2. Контролепригодность. 3. Техническое состояние. 4. Система технического диагностирования.
3	Параметр или характеристика, используемая при диагностировании.	1. Диагностическая модель. 2. Статическая характеристика. 3. Диагностический признак. 4. Динамическая характеристика.
4	Формальное описание объекта диагностирования, которое учитывает изменения его состояния.	1. Диагностическая модель. 2. Статическая характеристика. 3. Диагностический признак. 4. Динамическая характеристика.
5	Результат диагностирования, заключение о техническом состоянии объекта.	1. Обследование. 2. Диагноз. 3. Рабочее диагностирование. 4. Тестовое диагностирование.
6	Характеристика системы, не зависящая от частоты и времени.	1. Диагностическая модель. 2. Статическая характеристика. 3. Диагностический признак. 4. Динамическая характеристика.
7	Характеристика системы, зависящая от частоты и/или времени.	1. Диагностическая модель. 2. Статическая характеристика. 3. Диагностический признак. 4. Динамическая характеристика.
8	Способ диагностирования, при котором на элементы системы подаются рабочие воздействия.	1. Рабочее. 2. Тестовое. 3. Экстремальное. 4. Пробное.
9	Способ диагностирования, при котором на элементы системы подаются тестовые воздействия, вызывающие его реакцию.	1. Рабочее. 2. Тестовое. 3. Экстремальное. 4. Пробное.

Методы и алгоритмы диагностирования автоматизированных систем

№ п/п	Вопрос	Варианты ответа
1	Совокупность операций, действий, позволяющих дать объективное заключение о состоянии объекта.	1. Рабочее диагностирование. 2. Тестовое диагностирование. 3. Алгоритм диагностирования. 4. Метод диагностирования.
2	Совокупность предписаний, которые определяют порядок действий при проведении диагностирования.	1. Рабочее диагностирование. 2. Тестовое диагностирование. 3. Алгоритм диагностирования. 4. Метод диагностирования.
3	К какому методу диагностирования относится разновидность обнаружения дефектов с применением магнитной суспензии.	1. Капиллярный. 2. Магнитопорошковый. 3. Акустический. 4. Электромагнитный.
4	К какому методу диагностирования относится ультразвуковая разновидность обнаружения дефектов.	1. Капиллярный. 2. Магнитопорошковый. 3. Акустический. 4. Электромагнитный.
5	К какому методу диагностирования относится люминесцентно-цветная разновидность обнаружения дефектов.	1. Капиллярный. 2. Магнитопорошковый. 3. Акустический. 4. Электромагнитный.
6	Метод, основанный на получении спектральной плотности мощности шума на некоторой частоте через измерение эффективного напряжения шума при помощи высокочувствительного измерителя с известной полосой пропускания.	1. Метод сравнения. 2. Компенсаторный метод. 3. Модуляционный метод. 4. Метод непосредственного измерения НЧ шума.
7	Метод диагностирования, при котором исследуемый шум сравнивается с эталонным сигналом или шумом.	1. Метод сравнения. 2. Компенсаторный метод. 3. Модуляционный метод. 4. Метод непосредственного измерения НЧ шума.
8	Использование части производительности ЭВМ для контроля исполнения и восстановления работоспособности ПО после сбоя.	1. Информационная избыточность. 2. Временная избыточность. 3. Программная избыточность. 4. Ресурсная избыточность.
9	Дублирование части данных информационной системы для обеспечения надёжности и контроля достоверных данных.	1. Информационная избыточность. 2. Временная избыточность. 3. Программная избыточность. 4. Ресурсная избыточность.