

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические рекомендации для  
самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Б1.В.14 Надежность, эргономика и качество АСОИ

**Направление подготовки (специальность) 09.03.01 Информатика и  
вычислительная техника**

**Профиль образовательной программы “Автоматизированные системы  
обработки информации и управления”**

**Форма обучения заочная**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	3
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ .....	4
ПО ПОДГОТОВКЕ РЕФЕРАТА/ЭССЕ .....	4
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

# 1. ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

## 1.1. Организационно-методические данные дисциплины

№ п.п.	Наименование темы	Общий объем часов по видам самостоятельной работы (из табл. 5.1 РПД)				
		подготовка курсового проекта (работы)	подготовка реферата/эссе	индивидуальные домашние задания (ИДЗ)	самостоятельное изучение вопросов (СИВ)	подготовка к занятиям (ПкЗ)
1	2	3	4	5	6	7
1	Общие сведения о надежности.		5		9	
2	Анализ невосстанавливаемых систем.		5		9	
3	Структурный анализ надежности систем.		5		9	
4	Анализ восстанавливаемых систем.		5		9	
5	Методы анализа и контроля надежности АСОИУ.		5		11	
6	Отказоустойчивые программно-технические комплексы АСОИУ.		5		11	
7	Анализ надежности программного обеспечения.		5		11	
8	Эргономическое обеспечение АСОИУ. Качество программного обеспечения АСОИУ.		5		11	

## **2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ РЕФЕРАТА/ЭССЕ**

### **Темы рефератов**

1. Методы структурного резервирования.
2. Роль и место надежности при проектировании, изготовлении и эксплуатации АСОИУ.
3. Оценка надежности невосстанавливаемых систем.
4. Влияние различных факторов на показатели надежности.
5. Оценка надежности восстанавливаемых систем.
6. Методы обеспечения надежности программно-технических комплексов.
7. Основные виды избыточности и их характеристика.
8. Проектирование систем контроля работоспособности систем.
9. Методы структурного резервирования.
10. Основные классы избыточности: структурная, временная, функциональная, алгоритмическая, информационная.
11. Функциональные связи показателей надежности между собой и с системными показателями.
12. Организация и проведение испытаний на надежность.
13. Применение методов помехоустойчивого кодирования информации.
14. Методы построения отказоустойчивых систем.
15. Кластерные системы высокой готовности.
16. Методы обеспечения надежности и сохранности информации в БД.
17. Методы обеспечения надежности программного обеспечения.
18. Оценка качества программных продуктов.
19. Эргономические требования к АСОИУ.
20. Распределение функций между оператором и комплексом средств автоматизации.
21. Управление качеством АСОИУ.
22. Модель эргономического звена.
23. Качество программного обеспечения: тестирование, верификация, валидация.
24. Система управления качеством АСОИУ.
25. Стандартизация и сертификация в управлении качеством.

#### **2.1 Реферат/эссе содержит:**

- титульный лист;
- содержание;
- введение;
- основная часть;
- заключение;
- список использованной литературы;

#### **2.2 Оформление работы.**

1. Формат листа бумаги: А4.
2. Размер шрифта: основной текст - 14 пунктов, заголовки разделов 16 пунктов полужирный, заголовков подразделов 14 пунктов полужирный.

3. Название шрифта: TimesNewRoman.
4. Междустрочный интервал: полуторный.
5. Кол-во строк на странице: 28-30 строк(1800 печатных знаков).
6. Абзац: 1,5 см.
7. Поля (мм): Левое-30, правое, верхнее и нижнее – 20.
8. Общий объем: 10-20 с. машинописного текста.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСОВ**

#### **3.1 Классификация отказов ТУ. Факторы, определяющие надежность информационных систем. Влияние человека-оператора на функционирование информационных систем.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Возникающие в ТУ отказы разнообразны как по характеру развития и проявления, так и по причинным связям. Основными признаками классификации является следующее:

- по характеру изменения параметра;
- по взаимосвязи;
- по характеру нарушения работоспособности;
- по причинам возникновения.

К первой группе относятся внезапные и постепенные отказы.

Внезапным называется отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или нескольких основных параметров.

Постепенным называется отказ, характеризующийся постепенным изменением одного или нескольких основных параметров.

Ко второй группе относятся зависимые и независимые между собой отказы.

Зависимым называется отказ элемента, обусловленный повреждением или отказом других элементов сложного ТУ.

Независимый отказ не обусловлен отказами других элементов.

В третьей группе различаются сбои и перемежающие отказы.

Сбоем называется самоустраниющийся отказ, приводящий к кратковременному нарушению работоспособности.

Перемежающимся отказом называется многократно возникающий сбой одного и того же характера.

К последней группе относятся конструктивные, производственные и эксплуатационные отказы.

Конструктивными называется отказ, возникающий в результате нарушения установленных норм или правил конструирования ТУ.

Производственным называется отказ, возникающий в результате нарушения установленного процесса изготовления или ремонта ТУ.

Эксплуатационным называется отказ, возникший в результате правил или условий эксплуатации ТУ.

Факторы, влияющие на снижения надежности ТУ

Все отказы ТУ происходят вследствие воздействия различных факторов, к которым относятся физические, физико-химические, химические, биологические и эксплуатационные факторы.

Личные качества и низкие технологические знания исполнителей являются не только субъективными факторами, но и факторами, носящими социальную окраску.

Вопросы воспитания специалистов, соблюдения правил трудовой дисциплины,

технической учебы и повышения квалификации, вопросы самоконтроля и контроля выполняемых работ являются очень важными в деле профилактики дефектов и возникающих по их причинам отказов по вине человеческого фактора.

Ошибки обслуживающего персонала, выход ИС из штатного режима эксплуатации в силу случайных или преднамеренных действий пользователей, или обслуживающего персонала – операторов (превышение расчетного числа запросов, чрезмерный объем обрабатываемой информации и другие неоправданные действия), невозможность или нежелание обслуживающего персонала выполнять свои функции приводят к чрезвычайно серьезным последствиям. Это могут быть длительный простой в работе, ИС, искажение обрабатываемой информации и получение неверных результатов, потеря информации, сбои в работе программ и оборудования, отказы оборудования.

### **3.2 Вероятность безотказной работы и вероятность отказов. Аналитические зависимости между основными показателями надежности.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  – вероятность того, что в заданном интервале времени или заданной наработки отказ изделия не произойдет. Эта функция является убывающей.  $P(0) = 1$ ;  $P(\infty) = 0$ , следовательно  $0 \leq P(t) \leq 1$ . На рисунке 5 представлена графическая интерпретация функции надежности.

Функции вероятности безотказной работы  $P(t)$  и вероятности отказа  $Q(t)$

Для невосстанавливаемых систем вероятность безотказной работы рассчитывается

где  $N(t)$  – количество изделий, остающихся работоспособными к моменту времени  $t$ ;

– количество изделий, находившихся под наблюдением.

Для восстанавливаемых систем

где  $n(t)$  – количество изделий, в которых произошел хотя бы один отказ к моменту времени  $t$ .

В некоторых случаях более удобной характеристикой безотказности выступает вероятность неисправной работы или вероятность отказа  $Q(t)$ . Очевидно, что  $P(t)$  и  $Q(t)$  события противоположные, несовместимые и образуют полную группу событий. Следовательно  $Q(t) = 1 - P(t)$ ;  $P(t) = 1 - Q(t)$ . Использование показателя вероятности безотказной работы несет в себе ряд преимуществ:

применим для оценки простых и сложных систем;

применим для оценки на стадии проектирования системы;

является показателем изменения надежности во времени;

является достаточно полной характеристикой надежности, поскольку учитывает большое число факторов влияния.

Главным недостатком данного показателя является то, что он может служить достаточно полной характеристикой только для невосстанавливаемых систем.

Между основными показателями надежности существуют аналитические зависимости, которыми удобно пользоваться при оценке какого-то конкретного показателя при известном другом.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  и средняя наработка до отказа:

т.е. средняя наработка до отказа невосстанавливаемого объекта равна площади под кривой  $P(t)$ .

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  и интенсивность отказов  $\lambda(t)$

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  и средняя наработка до отказа при постоянной интенсивности отказов  $= 1/\lambda$ , что характерно для внезапных отказов при экспоненциальном законе распределения средней наработки до отказа.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(t)$  и средняя наработка до отказа при том же условии:

Средняя наработка на отказ восстанавливаемого объекта и параметр потока отказов  $\omega(t)$ .

Независимо от закона распределения времени безотказной работы, параметр потока отказов стремится к постоянной величине, обратной средней наработки на отказ.

Вероятность восстановления  $P(tb)$  и интенсивность восстановления  $\mu(tb)$ :

Вероятность безотказной работы  $P(tc)$  и средний срок службы:

$$P(t) = 1 - \varphi((t - \bar{t})/\sigma),$$

где  $\varphi$  – функция Лапласа;  $\sigma$  – дисперсия нормального распределения среднего срока службы, что характерно для постепенных отказов при нормальном законе распределения среднего срока службы (или средней наработки до отказа).

### **3.3 Основные причины отказов программного обеспечения. Основные показатели надежности программного обеспечения.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Основными причинами, вызывающими нарушения нормального функционирования ПО, являются:

- ошибки, скрытые в самой программе;
- искажение входной информации;
- неверные действия пользователя;
- неисправность аппаратных средств ИС, на которой реализуется вычислительный процесс.

Ошибки, скрытые в программе. При разработке сложного ПО возможно возникновение ошибок, которые не всегда удается обнаружить и ликвидировать в процессе отладки. В силу этого в программах остается некоторое количество скрытых ошибок. Они являются причиной неверного функционирования этих программ. Среди ошибок подобного рода можно выделить следующие характерные группы.

Ошибки вычислений. Ошибки этой группы связаны с некорректной записью или программированием математических выражений, а также неверное преобразование типов переменных. Вследствие этого получаются неправильные результаты.

Логические ошибки. Эта группа ошибок является причиной искажения алгоритма решения задачи. К ошибкам подобного рода можно отнести неверную передачу управления, неверное задание диапазона изменения параметра цикла, неверное условие и другие ошибки.

**Ошибки ввода-вывода.** Эти ошибки связаны с неправильным управлением ввода-вывода, формированием выходных записей, определением размера записей и другими неправильно совершенными действиями.

**Ошибки манипулирования данными.** К числу таких ошибок относятся: неверное определение числа элементов данных; неверные начальные значения, присвоенные данным; неверное указание длины операнда или имени переменной и другие ошибки.

**Ошибки совместимости** связаны с отсутствием совместимости разрабатываемого или применяемого ПО с операционной системой или другими прикладными программами.

**Ошибки сопряжений.** группа этих ошибок вызывает неверное взаимодействие ПО с другими программами или подпрограммами, с системными программами, устройствами ЭВМ или входными данными.

**Искажение входной информации.** Указанная причина вызывает нарушение функционирования ПО, когда входные данные не попадают в допустимую область значения переменных. В этом случае возникает несоответствие между исходной информацией и возможностями программы.

**Неверные действия пользователя** связаны с неправильной интерпретацией сообщений, с неправильными действиями пользователя при работе в диалоговом режиме. Часто эти ошибки являются следствием некачественной программной документацией.

**Неисправность аппаратных средств ИС.** Эти неисправности оказывают определенное влияние на характеристики надежности ПО. Появление отказов или сбои в работе аппаратуры приводят к нарушению хода обработки информации и, как следствие, могут искажать как исходные данные, так и саму программу.

Следствием появления ошибок в программе является ее отказ. Последствия отказов ПО можно разделить на:

- полное прекращение выполнения функций программы;
- кратковременное нарушение хода обработки информации в ИС.

Степень серьезности последствий отказов ПО оценивается соотношением между временем восстановления программы после отказа и динамическими характеристиками объектов, использующих результаты работы этой программы.

Аварийное завершение работы прикладного ПО легко идентифицируется, так как операционная система выдает сообщения, содержащие аварийный код. Характерными причинами появления аварийного завершения являются ошибки при выполнении макрокоманды, неверное использование методов доступа, нарушение защиты памяти,

нехватка ресурсов памяти, неверное использование макрокоманды, возникновение программных прерываний, для которых не указан обработчик, и другие причины.

### **3.4 Надежность технических устройств в период хранения.**

#### **Характеристики надежности информационной системы при хранении информации.**

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Эта составляющая надежности характеризует свойство ТУ противостоять вредным воздействиям среды при их хранении и транспортировке.

В понятии сохраняемости следует различать две стороны. Одна из них связана с надежностью ТУ в процессе их хранения на складах. Здесь используются такие показатели, как интенсивность отказов при хранении, среднее время безотказного хранения(средний срок сохраняемости) и другие характеристики. Другая сторона понятия сохраняемости характеризует способность ТУ противостоять отрицательному влиянию условий хранения и транспортировки на его безотказность при последующей эксплуатации в рабочих режимах. В этом случае сохраняемость характеризуется некоторым сроком хранения в определенных условиях с соответствующим

техническим обслуживанием. В течение этого срока уменьшение средней наработки до отказа, обусловленное хранением, должно находиться в допустимых пределах, оговоренных нормативно-технической документацией. В качестве основных количественных показателей сохраняемости используются:

·срок сохраняемости. Это календарная продолжительность хранения или транспортировки ТУ, в течение которого сохраняются в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность ТУ выполнять заданные функции;

·средний срок сохраняемости  $T_{сохр.ср.}$ . Это величина является математическим ожиданием срока сохраняемости:

Срок сохраняемости в теории надежности рассматривается как случайная величина.

### **3.5 Общее резервирование. Раздельное резервирование. Определение необходимого количества резервных элементов**

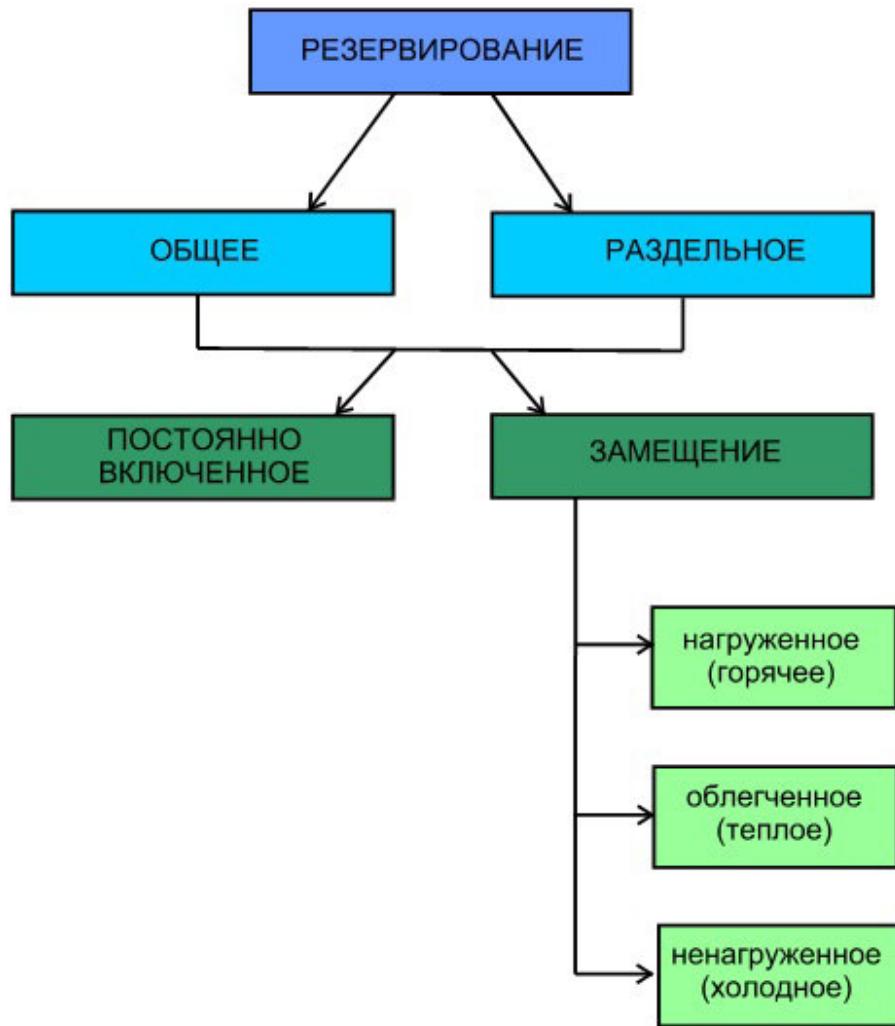
При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Резервирование – повышение надежности объекта введением избыточности, т.е. дополнительных средств и возможностей сверх минимально необходимых для выполнения объектом возложенных на него функций.

В различных областях техники используются разные виды резервирования – структурное, временное, функциональное, информационное.

В энергетике, в основном, применяют структурное резервирование, т.е. используют избыточные (резервные) конструктивные элементы, включенные параллельно

основным (рабочим) и дублирующие их. При этом основным называют такой элемент структуры объекта, который минимально необходим для выполнения объектом заданных функций, а резервный обеспечивает работоспособность объекта в случае отказа основного элемента.



Структурное резервирование может осуществляться разными способами. При общем резервировании резервируется объект в целом, а при раздельном- его отдельные элементы. Кратностью резервирования называют отношение числа резервных элементов к числу основных:  $K_p = N_{рез}/N_{осн.}$

По числу резервных элементов различают однократное, двукратное и многократное резервирование. При раздельном резервировании  $K_p$  чаще всего бывает дробной величиной, а при общем – целым числом. В энергетике, как правило, используется раздельное резервирование в виде дублирования отдельных наименее надежных и наиболее ответственных элементов, например, линий питательной воды паровых котлов, дымососов, некоторых установок питательных, конденсатных насосов и предохранительных клапанов. На один основной элемент обычно приходится один резервный.

При постоянном резервировании резервные элементы участвуют в функционировании объекта наравне с основным, а при резервировании замещением функции основного элемента передаются резервному элементу только после отказа основного.

Различие между постоянным включением резерва и нагруженным резервом замещения можно представить на следующих примерах: к первому относится резервный конденсатный насос, непрерывно работающий параллельно с основным, ко второму –

паровой котел, находящийся в разогретом состоянии, но не вырабатывающий пар в паропровод.

Термины горячий, теплый и холодный резервы весьма удачны применительно к энергетике, и поэтому часто используются наравне с рекомендуемыми ГОСТ терминами соответственно нагруженный, облегченный, ненагруженный резервы.

В зависимости от места подключения резервного агрегата различают фиксированное резервирование, когда резервный агрегат должен быть введен взамен одного вполне конкретного работающего агрегата, и скользящее резервирование, когда резерв вводится вместо любого из работающих агрегатов данной группы.

Рассмотрим свойства некоторых способов резервирования, характерных для энергетического оборудования.

Преимуществом ненагруженного резерва является возможность сохранить ресурс резервного агрегата при нормальной работе остальных. Однако в энергетической практике ненагруженный резерв имеет серьезный недостаток – во многих случаях его нельзя ввести в работу тотчас после возникновения отказа основного оборудования, и поэтому могут временно ухудшиться условия поддержания заданной нагрузки. Так, если исправный турбоагрегат остановлен в резерв, то его ресурс не расходуется, но даже в самой экстренной ситуации потребуется некоторое вполне определенное время для пуска. Турбоагрегат может также работать с относительно малой нагрузкой (так называемый вращающийся резерв), и при необходимости набор нагрузки производится в темпе, ограниченном только динамическими свойствами энергоблока, но ресурс агрегата расходуется постоянно.

В энергетике часто одним или несколькими агрегатами резервируют целую группу работающего оборудования. Именно таким образом включены турбоагрегаты в общую энергосистему. На ТЭС с поперечными связями резервный котел может заменить любой вышедший из строя котел. Следовательно, это пример скользящего резерва.

Структурное раздельное резервирование элемента организуется двумя способами:

а) постоянное включение резерва



б) резервирование замещением



Схема а). При постоянном включении резервный элемент включен параллельно основному и работает вместе с ним. При отказе основного элемента установка сохраняет работоспособность за счет резервного элемента, принимающего на себя всю нагрузку. В

в этом случае нет необходимости включать резервный элемент и отключать отказавший основной, но резервный элемент изнашивается и расходует свой ресурс надежности вместе с основным.

### 3.6 Комплексные показатели надежности.

#### Полная вероятность выполнения заданных функций.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Восстанавливаемые объекты кроме оценки надежности по единичным показателям характеризуются еще и комплексными показателями. Среди них отметим следующие:

**Коэффициент готовности** – представляет собой вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается. В отличие от единичных комплексные показатели надежности количественно характеризуют не менее двух свойств, составляющих надежность. Коэффициент готовности – один из примеров комплексных показателей, характеризующий одновременно безотказность и ремонтопригодность. На практике его вычисляют по следующей статистической формуле:

$$K_g = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{Bi}},$$

где  $t_i$  – i-й интервал времени исправной работы изделия,  $t_{Bi}$  – i-й интервал времени восстановления изделия, а  $n$  – число отказов изделия. Или по формуле:

$$K_g = \frac{T_0}{T_0 + T_B}$$

где  $K_g$  – коэффициент готовности;  $T_0$  – средняя наработка на отказ;  $T_B$  – среднее время восстановления объекта.

**Коэффициент технического использования** – коэффициент технического использования характеризует долю времени нахождения объекта в работоспособном состоянии относительно рассматриваемой продолжительности эксплуатации. На практике он рассчитывается по статистической формуле как отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простое, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период эксплуатации. Может быть вычислен по статистической формуле:

$$K_u = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{Bi} + \sum_{i=1}^n t_{Pi} + \sum_{i=1}^n t_{Ri}},$$

где  $t_i$  – i-й интервал времени исправной работы изделия,  $t_{Bi}$  – i-й интервал времени восстановления изделия,  $n$  – число отказов изделия, где  $t_{Pi}$  – i-й интервал времени профилактики изделия,  $t_{Ri}$  – i-й интервал времени контроля изделия,  $m$  – число профилактик,  $k$  – число контрольных периодов за рассматриваемое время функционирования.

**Коэффициент оперативной готовности** – есть 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. Может быть определен по формуле полной вероятности  $K_{op}(t, \tau) = K_T(t)P(\tau)$ .

### 3.7 Временные характеристики, применяющиеся при статистических исследованиях надежности. Экспериментальное определение характеристик надежности.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности.

Определяющим параметром долговечности любого устройства является наработка, под которой понимается продолжительность работы ТУ. Основной мерой, оценивающей продолжительность работы, принято считать время в часах, то есть время, в течение которого ТУ выполняет свои рабочие функции. Время наработки нельзя смешивать со временем эксплуатации, то есть календарным временем, в течение которого устройство находится в эксплуатации.

У некоторых ТУ мерой оценки продолжительности работы являются другие показатели, например, продолжительность работы электрических аккумуляторных батарей измеряется числом зарядно-разрядных циклов; продолжительность работы реле – числом включений и выключений; объектов подвижного состава железнодорожного транспорта – количеством пройденных километров и так далее. Тем не менее все основные характеристики надежности, являющиеся функциями времени наработки, должны быть использованы при решении задач надежности, когда определяющие параметры имеют другую размерность. В этом случае под символом  $t$  следует понимать любой вид наработки, а под  $T$  – математическое ожидание появления отказа, оценивающееся любой из возможных размерностей. Тем не менее все основные характеристики надежности, являющиеся функциями времени наработки, должны быть использованы при решении задач надежности, когда определяющие параметры имеют другую размерность. В этом случае под символом  $t$  следует понимать любой вид наработки, а под  $T$  – математическое ожидание появления отказа, оценивающееся любой из возможных размерностей.

Надежности равна величине  $a_r$ , а для системы в целом она равна  $A$ , то коэффициент приведения определяющих параметров элементов к размерности соответствующих параметров системы выражается в виде соотношения

$$\gamma_r = \frac{A}{a_r}.$$

Тогда, чтобы привести характеристики наработки элементов, имеющих размерность  $r$ , к размерности, например, времени, их следует умножить на коэффициент приведения:

$$T_{[час]} = \gamma_r T_r;$$

$$\sigma_{t[час]} = \gamma_r \sigma_{tr}.$$

При проведении статистических испытаний на надежность и расчетов в качестве определяющего параметра применяется случайная величина – суммарное время наработки ТУ, взятых под наблюдение в течение некоторого времени эксплуатации этих устройств:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{N} t_i,$$

где  $t_i$  – время наработки до отказа  $i$ -о ТУ.

Для непрерывно работающих невосстанавливаемых ТУ можно записать

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} t_i + (N - n + 1) t_n,$$

где  $t_i$  – время наработки  $i$ -о невосстанавливаемого ТУ;

$t_n$  – время, соответствующее  $n$  случаям отказа ТУ.

Практически для вычисления суммарного времени наработки весь испытательный период рабочего времени разбивается на разряд, соответствующий равным отрезкам времени  $\Delta t$ .

Если  $\Delta n_i$  – число отказов в течение  $i$ -о отрезка рабочего времени, то суммарное время наработки всех функционирующих в процессе эксплуатации ТУ может быть выражено следующим образом:

$$t_{\Sigma} = ((N - n(t))t + 0,5\Delta t \Delta n_1 + 1,5\Delta t \Delta n_2 + \dots + (k - 0,5)\Delta t \Delta n_k),$$

где  $0,5\Delta t; 1,5\Delta t; \dots; (k-0,5)\Delta t$  – времена наработки отказавших ТУ;  $k$  – полное число разрядов. Учитывая, что

$$n(t) = \Delta n_1 + \Delta n_2 + \dots + \Delta n_k = \sum_{j=1}^k \Delta n_j \quad \Delta t = \frac{t}{k},$$

и

Получим

$$t_{\Sigma} = t \left[ N - \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (k + 0,5 - j) \Delta n_j \right].$$

Для восстанавливаемых ТУ суммарное время наработки равно

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k t_{ij},$$

где  $t_{ij}$  – время наработки  $j$ -о ТУ в течение  $i$ -о интервала испытательного времени.

Среднее время наработки ТУ измеряется математическим ожиданием суммарного времени их наработки от начала до заданного момента времени эксплуатации.

Среднее статистическое время наработки в границах заданного времени эксплуатации есть отношение суммарного времени наработки однотипных ТУ за весь период времени эксплуатации к общему времени этих устройств:

$$T^* = \frac{t_{\Sigma}}{N}.$$

На практике в качестве одного из основных критериев часто применяется среднее время наработки на один отказ. Эта величина оценивается отношением суммарного времени наработки однотипных ТУ за заданное время эксплуатации к числу отказавших за это же время устройств:

$$T_{ho}^* = \frac{t_{\Sigma}}{n}.$$

### 3.8 Прогнозирование надежности.

#### Методика системы сбора и обработки информации о надежности.

При изучении вопроса необходимо обратить внимание на следующие особенности

Случайное событие, приводящее к полной или частичной утрате работоспособности изделия, называется отказом.

Отказы по характеру изменения параметров аппаратуры до момента их возникновения подразделяют на постепенные и внезапные (катастрофические). Постепенные отказы характеризуются достаточно плавным времененным изменением одного или нескольких параметров, внезапные – их скачкообразным изменением. По повторяемости возникновения отказы бывают одноразовые (сбои) и перемежающиеся.

Сбой – однократно возникающий самоустраниющийся отказ, перемежающийся отказ – многократно возникающий сбой одного и того же характера.

В зависимости от причины возникновения отказы делятся на устойчивые и самоустраниющиеся. Устойчивый отказ устраняется заменой отказавшего компонента, а самоустраниющийся исчезает сам, но может повториться. Самоустраниющийся отказ может проявиться в виде сбоя или в форме перемежающегося отказа.

Возникновение отказов происходит как из-за внутренних свойств аппаратуры, так и из-за внешних воздействий и носит случайный характер. Для количественной оценки отказов используют вероятностные методы теории случайных процессов.

**Безотказность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени. Способность изделия непрерывно сохранять заданные функции в течение установленного в технической документации времени характеризуется вероятностью безотказной работы, интенсивностью отказов и средней наработкой между отказами. Безотказность изделия (например, ячейки) в свою очередь определяется значениями интенсивности отказов компонентов  $\lambda_i$ , входящих в его состав.

Теория оценки надежности методологически позволяет увидеть и "оправдать" существовавшие ранее конкретные модели оценки надежности, в частности компонентов, а также предвидеть степень их полноты, достаточности и адекватности для решения практических задач надежности.

Исследователи отказов компонентов использовали принцип каузальности (причинности) и для объяснения процессов деградации, приводящих к отказам, применяли знания из физики, химии, термодинамики и материаловедения. В результате появились синтетические термины и понятия – "механизм отказа", "энергия активации процесса деградации", составляющие основу физических методов анализа (физика надежности, физика старения, физика отказов), положенных в основу разработок моделей оценки показателей надежности с целью прогнозирования надежности компонентов. Такие модели широко используются в практической работе при анализе и оценке надежности изделий, в том числе компонентов МЭА, и приведены в официальных стандартах и каталогах микросхем, являющихся главным видом изделий элементной базы современных технических объектов. Поэтому знание этих моделей полезно для правильного инженерного применения.

Для того чтобы дать представление о природе процессов деградации в изделиях, вначале покажем, каким образом можно применить концепции химического равновесия, статистической механики и теории абсолютных скоростей реакций к системе, состоящей из многих частиц. Это позволит далее ввести как эмпирическую модель оценки скоростей реакции Аррениуса, так и более общую модель Эйринга.

Под **механизмами отказов** понимаются микроскопические процессы изменений, ведущие к отказу изделия. Механизм отказа представляет теоретическую модель, призванную объяснить на атомном и молекулярном уровнях внешние проявления отказа изделия. Эти внешние проявления обусловливаются видом отказов и представляют собой конкретные, физически измеримые состояния изделия.

Модель механизма отказов обычно является в большой мере идеализированной. Однако она позволяет предсказать взаимозависимости, что приводит к лучшему пониманию рассматриваемого явления, хотя количественные результаты зависят от конкретных компонентов, состава и конфигурации изделия.

Механизмы отказов могут иметь физическую и (или) химическую природу. На практике разделить механизмы отказов затруднительно. Поэтому зачастую в процессе анализа сложный ряд механизмов рассматривают как единый обобщенный механизм отказов. Как правило, особый интерес представляет какой-то один механизм из ряда действующих одновременно, который определяет скорость протекания процесса деградации и сам развивается наиболее быстро.

Механизмы отказов могут быть представлены либо непрерывными функциями времени, которые обычно характеризуют процессы старения и износа, либо скачкообразными функциями, отражающими наличие множества невыявленных дефектов или качественно слабых мест.

Первая группа механизмов обусловлена тонкими дефектами, приводящими к дрейфу параметров компонентов за пределы допусков, и характерна для большинства компонентов; вторая группа механизмов проявляется в небольшом числе компонентов и обусловлена грубыми дефектами, от которых избавляются посредством технологических отбраковочных испытаний (ТОИ).

Даже самый простой компонент изделия (в том числе ИМНЭ) является многокомпонентной гетерогенной системой, многофазной, имеющей граничные области между фазами. Для описания такой системы используют либо феноменологический, либо молекулярно-кинетический подход.

**Феноменологический подход** – чисто эмпирический, описывающий состояние системы на основании измеримых макроскопических параметров. Например, для транзистора по результатам измерений дрейфа во времени тока утечки и напряжения пробоя в определенные моменты времени устанавливается взаимосвязь этих параметров, на базе которой осуществляется прогнозирование свойств и состояний транзистора как системы. Однако эти параметры являются усредненными по множеству микроскопических характеристик, что снижает их чувствительность как индикаторов механизмов деградации.

**Молекулярно-кинетический подход** преимущественно связывает макроскопические свойства системы с описанием ее молекулярной структуры. В системе из многих частиц (атомов и молекул) их перемещения можно описать на основе законов классической и квантовой механики. Однако вследствие необходимости учета большого числа взаимодействующих частиц задача весьма объемна и трудна для решения. Поэтому молекулярно-кинетический подход также остается чисто эмпирическим.

Интерес к кинетике деградации компонентов ведет к анализу того, как протекают превращения (переходы) одного равновесного состояния в другое с учетом природы и скорости превращений. При таком анализе возникают некоторые трудности.

Работа компонентов зависит главным образом от таких необратимых явлений, как электро- и теплопроводность, т.е. определяется неравновесными процессами, для исследования зависимости которых приходится прибегать к методам аппроксимации, поскольку компоненты являются многокомпонентными системами, состоящими из ряда фаз вещества. Наличие множества неравновесных факторов может при определенных условиях влиять на природу и скорость изменения равновесных состояний системы. Следовательно, необходимо учитывать не только комбинации механизмов, способных меняться в зависимости от времени и нагрузки, но и изменения во времени самих механизмов.

Несмотря на эти сложности, можно сформулировать общую концепцию рассмотрения и анализа, исходя из того, что в технологии компонентов на основании контроля их параметров и результатов некоторого периода испытаний принято решать, какие из данного множества компонентов являются годными для конкретного применения. Процесс отбраковки осуществляется на протяжении всего производственного цикла: от материалов до испытаний готовых изделий.