

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической эксплуатации и ремонта
летательных аппаратов и авиадвигателей

А.А. Ицкович, И.А. Файнбург, Г.Д. Файнбург

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Учебно-методическое пособие
по проведению практических занятий
«Оценка показателей надежности
авиационной техники»

*для студентов
направления 25.03.01 и специальности 25.05.05
всех форм обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2020

УДК 629.7.08
ББК 052-017.1
И96

Рецензент:

Герасимова Е.Д. – канд. техн. наук, доцент

Ицкович А.А.

И96

Основы теории надежности [Текст] : учебно-методическое пособие по проведению практических занятий «Оценка показателей надежности авиационной техники» / А.А. Ицкович, И.А. Файнбург, Г.Д. Файнбург. – М.: ИД Академии Жуковского, 2020. – 60 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы теории надежности» по учебному плану для студентов направления 25.03.01 и специальности 25.05.05 всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 04.02.2020 г. и методического совета направления 25.03.01 – 04.03.2020 г. и специальности 25.05.05 – 04.03.2020 г.

УДК 629.7.08
ББК 052-017.1

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель проведения практических занятий

- 1) ознакомление с научными методами анализа и классификации понятий, терминов и определений надежности технических объектов;
- 2) изучение стандартизованных понятий, терминов и определений по надежности технических объектов.
- 3) практическое освоение параметрических и непараметрических методов оценки показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости и готовности невосстанавливаемых и восстанавливаемых объектов по данным испытаний и эксплуатационных наблюдений;
- 4) практическое освоение методов структурных схем и логических схем анализа безотказности функциональных систем;
- 5) приобретение практических навыков по выбору методов решения задач оценки и анализа показателей надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых объектов по данным испытаний и эксплуатационных наблюдений.

Практические занятия включают решение задач по всем основным темам дисциплины: основные термины и определения надежности, модели надежности восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов, непараметрические и параметрические методы оценки показателей надёжности, оценка показателей надёжности по данным эксплуатационных наблюдений, методы анализа надежности функциональных систем.

1.2. Объекты практических занятий

- 1) стандартизованные понятия, термины и определения надежности технических объектов;
- 2) изделия и функциональные системы ЛА;
- 3) статистические данные испытаний и эксплуатационных наблюдений надежности изделий авиационной техники.

1.3. Методические указания по проведению каждого практического занятия содержат: название темы и цель занятия; краткие теоретические сведения по теме; рекомендации для выполнения данной темы занятия и собственного задания для самостоятельной работы; вопросы, рекомендуемые к рассмотрению по теме занятий. По каждому занятию предусмотрено несколько вариантов исходных данных. Кроме того, преподаватель может выдать студентам дополнительные варианты.

По результатам выполнения каждого практического занятия студентом составляется отчет. Отчет должен содержать название темы и цель занятия, исходные данные выполненного варианта, необходимые расчетные зависимости, примеры расчетов и результаты расчетов в виде таблиц и графиков, выводы, фамилию И.О. и подпись студента, дату выполнения задания практического занятия. При представлении результатов расчетов в виде таблиц или графиков даются примеры расчетов с подстановкой исходных данных в расчетные формулы.

1.4. Содержание практических занятий:

Практическое занятие № 1. Анализ основных стандартизованных понятий, терминов и определений надежности технических объектов [1,4,5,7,8].

Практическое занятие № 2. Анализ основных стандартизованных понятий, терминов и определений обеспечения надежности технических объектов [1,4,5,7,8].

Практическое занятие № 3. Модели безотказности невосстанавливаемых изделий [1,3,7- 9].

Практическое занятие № 4. Модели безотказности восстанавливаемых изделий [1,3,7-9].

Практическое занятие № 5. Непараметрические методы оценки показателей надежности [1,7].

Практическое занятие № 6. Параметрические методы оценки показателей безотказности изделий [1,7].

Практическое занятие № 7. Оценка показателей безотказности изделий по данным эксплуатационных наблюдений [1,7,8].

Практическое занятие № 8. Анализ безотказности функциональных систем методом структурных схем [2,3,6].

Практическое занятие № 9. Анализ безотказности функциональных систем методом логических схем [2,3,6].

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

2.1. Практическое занятие № 1.

Тема: Анализ основных стандартизованных понятий, терминов и определений надежности технических объектов

Цель: закрепление знаний по теме «Анализ стандартизованных понятий, терминов и определений по надежности технических объектов»; ознакомление с научными методами анализа и классификации, понятий, терминов и определений надежности технических объектов.

2.1.1. Объект практического занятия

Объектом практического занятия являются стандартизованные понятия, термины и определения по надежности технических объектов по ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» и ГОСТ Р 27.001-2009. «Надежность в технике. Система управления надежностью».

2.1.2. Содержание практического занятия

- двухуровневая классификация стандартизованных терминов надежности технических объектов;

- анализ стандартизованных понятий, терминов и определений технических объектов;

- анализ стандартизованных понятий, терминов и определений состояний технических объектов;

- анализ стандартизованных понятий, терминов и определений событий технических объектов;
 - анализ стандартизованных понятий, терминов и определений свойств надежности технических объектов;
 - анализ стандартизованных понятий, терминов и определений временных характеристик технических объектов;
 - анализ стандартизованных понятий, терминов и определений показателей надежности технических объектов;
 - подготовка отчета по результатам выполнения практического занятия № 1.
- 2.1.3.Необходимые теоретические сведения

Для структуризации терминологии по надежности и методического обеспечения ее изучения и применения выполнена двухуровневая классификация стандартизованных терминов по надежности по ГОСТ 27.002-2015. «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения».

На 1-м уровне классификации (табл.2.1.1) приняты следующие признаки для терминов надежности - объекты; состояния; события; свойства; временные понятия; показатели;

На 2-м уровне классификации приняты следующие признаки (табл. 2.1.2):
для объектов - структура объекта, обслуживание объекта, восстановление объекта, ремонт объекта;

для состояний - уровень исправности, уровень работоспособности, выполнение требуемой функции, последствия состояния, критерий отказа;

для событий - вид события, зависимость отказа, причина отказа, характер возникновения отказа, характер устранения отказа, возможность обнаружения отказа, последствия отказа;

для свойств - единичные, комплексные;

для временных характеристик - наработка, календарная продолжительность (срок), затраченное время на поддержание надежности, назначенные ограничения;

для показателей - вид показателя надежности, показатели безотказности, показатели ремонтпригодности, показатели долговечности, показатели сохраняемости, комплексные показатели.

Определения основных понятий по надежности технических объектов сгруппированы по признакам 1-го уровня

Определения понятий технических объектов

Технический объект - предмет рассмотрения, на который распространяется терминология по надежности в технике.

Элемент - объект, для которого в рамках данного рассмотрения не выделяются составные части.

Система - объект, представляющий собой множество взаимосвязанных элементов, рассматриваемых в определенном контексте как единое целое и отделенных от окружающей среды.

Подсистема - часть системы, которая представляет собой систему.

Обслуживаемый объект - объект, для которого техническое обслуживание предусмотрено документацией.

Необслуживаемый объект - объект, для которого техническое обслуживание не предусмотрено документацией.

Восстанавливаемый объект - объект, восстановление работоспособного состояния которого предусмотрено документацией.

Невосстанавливаемый объект - объект, восстановление работоспособного состояния которого не предусмотрено документацией.

Ремонтпригодный объект - объект, ремонт которого предусмотрен документацией и возможен в заданных условиях.

Неремонтпригодный объект - объект, ремонт которого не предусмотрен документацией.

Определения понятий состояний технических объектов

Исправное состояние (исправность) - состояние объекта, в котором он соответствует всем требованиям, установленным в документации на него.

Неисправное состояние (неисправность) - состояние объекта, в котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации на него.

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

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

Рабочее состояние - состояние объекта, в котором он выполняет какую-либо требуемую функцию.

Нерабочее состояние - состояние объекта, в котором он не выполняет ни одной из требуемых функций.

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

Критерий предельного состояния - признак или совокупность признаков предельного состояния объекта, установленные в документации на него.

Опасное состояние - состояние объекта, в котором возникает недопустимый риск причинения вреда людям, или окружающей среде, или существенных материальных потерь, или других неприемлемых последствий.

Техническое состояние - состояние объекта, характеризующее совокупностью установленных в документации параметров, описывающих его способность выполнять требуемые функции в рассматриваемых условиях.

Таблица 2.1.1

Классификация основных терминов надежности технических объектов

по ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения»

Объекты	Состояния	События	Свойства	Временные понятия	Показатели надежности
<ul style="list-style-type: none"> •Технический объект •Система •Подсистема •Элемент •Обслуживаемый •Необслуживаемый •Восстанавливаемый •Невосстанавливаемый •Ремонтгодный •Неремонтгодный 	<ul style="list-style-type: none"> •Исправное •Неисправное •Работоспособное •Неработоспособное •Рабочее •Нерабочее •Предельное •Критерий предельного состояния •Опасное •Техническое •Предотказное •Критерий предотказного состояния 	<ul style="list-style-type: none"> •Дефект •Повреждение •Отказ - независимый - ресурсный - внезапный - постепенный - систематический - сбой - явный - скрытый - конструктивный - производственный - эксплуатационный - деградационный - отказы по общей причине - отказы общего вида •Вид отказа •Критерий отказа •Причина отказа •Последствия отказа •Критичность отказа •Механизм отказа 	<ul style="list-style-type: none"> •Надежность •Безотказность •Ремонтпригодность •Восстанавливаемость •Долговечность •Сохраняемость •Готовность 	<ul style="list-style-type: none"> •Наработка •Наработка до отказа •Наработка между отказами •Ресурс •Остаточный ресурс •Срок службы •Срок сохраняемости •Время (продолжительность) ремонта •Время восстановления •Время до восстановления •Назначенный ресурс •Назначенный срок службы •Назначенный срок хранения 	<ul style="list-style-type: none"> •Показатели •Единичные показатели надежности •Показатели безотказности - вероятность безотказной работы - средняя наработка до отказа - гамма-процентная наработка до отказа - средняя наработка между отказами - гамма-процентная наработка между отказами - интенсивность отказов - параметр потока отказов •Показатели ремонтпригодности - вероятность восстановления - среднее время восстановления - гамма-процентное время до восстановления - интенсивность восстановления •Показатели долговечности - средний ресурс - гамма-процентный ресурс - средний срок службы - гамма-процентный срок службы •Показатели сохраняемости - средний срок сохраняемости - гамма-процентный срок сохраняемости •Комплексные показатели надежности - коэффициент готовности - коэффициент оперативной готовности - коэффициент технического использования - коэффициент сохранения эффективности

Таблица 2.1.2

Двухуровневая классификация терминов надежности технических объектов

Признаки классификации		Термины
1-го уровня	2-го уровня	
1	2	3
1. Объекты	1. 1. Структура объекта	1.1.1. Технический объект
		1.1.2. Элемент
		1.1.3. Система
		1.1.4. Подсистема
	1.2. Обслуживание объекта	1.2.1. Обслуживаемый объект
		1.2.2. Необслуживаемый объект
	1.3. Восстановление объекта	1.3.1. Восстанавливаемый объект
		1.3.2. Невосстанавливаемый объект
	1.4. Ремонт объекта	1.4.1. Ремонтпригодный объект
		1.4.2. Неремонтпригодный объект
2. Состояния	2.1. Уровень исправности	2.1.1. Исправное состояние (исправность)
		2.1.2. Неисправное состояние (неисправность)
	2.2. Уровень работоспособности	2.2.1. Работоспособное состояние
		2.2.2. Неработоспособное состояние
	2.3. Выполнение требуемой функции	2.3.1. Техническое состояние
		2.3.2. Рабочее состояние
		2.3.3. Нерабочее состояние
	2.4. Последствия состояния	2.4.1. Предельное
		2.4.2. Опасное
		2.4.3. Предотказное
2.5. Критерий состояния	2.5.1. Критерий предельного состояния	
	2.5.2. Критерий предотказного состояния	
3. События	3.1. Вид события	3.1.1. Дефект
		3.1.2. Повреждение
		3.1.3. Отказ
		3.1.4. Критерий отказа
	3.2. Зависимость отказа	3.2.1. Независимый отказ
		3.2.2. Зависимый отказ
	3.3. Причина отказа	3.3.1. Причина отказа
		3.3.2. Систематический отказ
		3.3.3. Конструктивный отказ
		3.3.4. Производственный отказ
		3.3.5. Эксплуатационный отказ
		3.3.6. Отказы по общей причине
		3.3.7. Отказы общего вида
	3.4. Характер возникновения отказа	3.4.1. Механизм отказа
		3.4.2. Внезапный отказ
		3.4.3. Постепенный отказ
3.5. Характер устранения отказа	3.5.1. Перемежающийся отказ	
	3.5.2. Сбой	
3.6. Возможность обнаружения отказа	3.6.1. Явный отказ	
	3.6.2. Скрытый отказ	

Продолжение табл. 2.1.2

1	2	3
	3.7. Последствия отказа	3.7.1. Последствия отказа
		3.7.2. Критичность отказа
		3.7.3. Ресурсный отказ
4. Свойства	4.1. Единичные	4.1.1. Безотказность
		4.1.2. Ремонтпригодность
		4.1.3. Восстанавливаемость
		4.1.4. Долговечность
		4.1.5. Сохраняемость
	4.2. Комплексные	4.2.1. Надежность
	4.2.2. Готовность	
5. Временные характеристики	5.1. Нарботка	5.1.1. Нарботка
		5.1.2. Нарботка до отказа
		5.1.3. Нарботка между отказами
		5.1.4. Ресурс
		5.1.5. Остаточный ресурс
	5.2. Календарная продолжительность (срок)	5.2.1. Срок службы
		5.2.2. Срок сохраняемости:
	5.3. Затраченное время на поддержание надежности	5.3.1. Время (продолжительность) ремонта
		5.3.2. Время восстановления
		5.3.3. Время до восстановления
	5.4. Назначенные ограничения	5.4.1. Назначенный ресурс
		5.4.2. Назначенный срок службы
5.4.3. Назначенный срок хранения		
6. Показатели надежности	6.1. Вид показателя надежности	6.1.1. Показатель надежности
		6.1.2. Единичный показатель надежности
		6.1.3. Комплексный показатель надежности
	6.2. Показатели безотказности	6.2.1. Вероятность безотказной работы
		6.2.2. Средняя наработка до отказа
		6.2.3. Гамма-процентная наработка до отказа
		6.2.4. Средняя наработка между отказами
		6.2.5. Гамма-процентная наработка между отказами
		6.2.6. Интенсивность отказов
		6.2.7. Параметр потока отказов
	6.3. Показатели ремонтпригодности	6.3.1. Вероятность восстановления:
		6.3.2. Среднее время восстановления
		6.3.3. Среднее время до восстановления
		6.3.4. Гамма-процентное время восстановления
		6.3.5. Гамма-процентное время до восстановления
		6.3.6. Интенсивность восстановления
	6.4. Показатели долговечности	6.4.1. Средний ресурс:
		6.4.2. Гамма-процентный ресурс
		6.4.3. Средний срок службы
		6.4.4. Гамма-процентный срок службы

Продолжение табл. 2.1.2

1	2	3
	6.5. Показатели сохраняемости	6.5.1. Средний срок сохраняемости
		6.5.2. Гамма-процентный срок сохраняемости
	6.6. Комплексные показатели надежности	6.6.1. Коэффициент готовности
		6.6.2. Коэффициент неготовности
		6.6.3. Коэффициент оперативной готовности
		6.6.4. Коэффициент технического использования

Предотказное состояние - состояние объекта, характеризующееся повышенным риском его отказа.

Критерий предотказного состояния - признак или совокупность признаков предотказного состояния объекта.

Определения понятий событий технических объектов

Отказ - событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Дефект - каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным документацией.

Повреждение - событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Вид отказа - единица классификации отказов, исходящей из установленных критериев: характера, причины, последствий отказа, функции, способность выполнения которой потеряна, или изменения состояния объекта.

Критерий отказа - признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в документации.

Независимый отказ - отказ, не обусловленный другими отказами.

Зависимый отказ - отказ, обусловленный другими отказами.

Причина отказа явления, процессы, события и состояния, вызвавшие возникновение отказа.

Последствия отказа - явления, процессы, события и состояния, обусловленные возникновением отказа объекта.

Критичность отказа - совокупность признаков, характеризующих последствия отказа.

Ресурсный отказ - отказ, в результате которого объект достигает предельного состояния.

Внезапный отказ - отказ, характеризующийся скачкообразным переходом объекта в неработоспособное состояние.

Постепенный отказ - отказ, возникающий в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров объекта.

Систематический отказ - отказ, однозначно вызванный определенной причиной, которая может быть устранена только модификацией проекта или производственного процесса, правил эксплуатации и документации.

Перемежающийся отказ - многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера.

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

Явный отказ - отказ, обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования при подготовке объекта к применению или в процессе его применения.

Скрытый отказ - отказ, не обнаруживаемый визуально или штатными методами и средствами контроля и диагностирования, но выявляемый при проведении технического обслуживания или специальными методами диагностирования.

Конструктивный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования.

Производственный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтной предприятии.

Эксплуатационный отказ - отказ, возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Деградационный отказ - отказ, обусловленный естественными процессами старения, износа, коррозии и усталости при соблюдении всех установленных правил и (или) норм проектирования, изготовления и эксплуатации.

Механизм отказа - процесс, который приводит к отказу.

Отказы по общей причине - отказы различных объектов, возникающие вследствие одного события (отказа, ошибки персонала, внешнего или внутреннего воздействия), которые без рассмотрения причин считались бы независимыми.

Отказы общего вида - отказы различных объектов, характеризующиеся одним и тем же видом отказа.

Определения понятий свойств надежности технических объектов

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

Примечание: Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовность или определенные сочетания этих свойств.

Безотказность - свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения.

Ремонтпригодность - свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором

объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта.

Восстанавливаемость - свойство объекта, заключающееся в его способности восстанавливаться после отказа без ремонта.

Долговечность - свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния.

Сохраняемость - свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования.

Готовность - свойство объекта, заключающееся в его способности находиться в состоянии, в котором он может выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонта в предположении, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены.

Определения понятий временных характеристик технических объектов

Наработка - продолжительность или объем работы объекта.

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

Наработка между отказами - наработка объекта между двумя следующими друг за другом отказами.

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

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

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

Срок сохраняемости - календарная продолжительность хранения и/или транспортирования объекта, в течение которой он сохраняет работоспособное состояние.

Время (продолжительность) ремонта - время, затрачиваемое непосредственно на выполнение операций по ремонту объекта.

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

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

Назначенный ресурс - суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта может быть продолжена только после принятия решения о возможности продления данного показателя.

Назначенный срок службы - календарная продолжительность, при достижении которой эксплуатация объекта может быть продолжена только после принятия решения о возможности продления данного показателя.

Назначенный срок хранения - календарная продолжительность, при достижении которой хранение объекта может быть продолжено только после принятия решения о возможности продления данного показателя.

Определения понятий показателей надежности технических объектов **Общие понятия**

Показатель надежности - количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Единичный показатель надежности - показатель надежности, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта.

Комплексный показатель надежности - показатель надежности, совместно характеризующий несколько единичных свойств, составляющих надежность объект.

Показатели безотказности

Вероятность безотказной работы - вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Средняя наработка до отказа - математическое ожидание наработки объекта до отказа.

Гамма-процентная наработка до отказа - наработка до отказа, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Средняя наработка между отказами - математическое ожидание наработки объекта между отказами.

Гамма-процентная наработка между отказами - наработка между отказами, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Интенсивность отказов - условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Параметр потока отказов - предел отношения вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта за достаточно малый интервал времени к длительности этого интервала, стремящейся к нулю.

Показатели ремонтпригодности и восстанавливаемости

Вероятность восстановления - вероятность того, что время (до) восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение.

Среднее время восстановления - математическое ожидание времени восстановления.

Среднее время до восстановления - математическое ожидание времени до восстановления.

Гамма-процентное время восстановления - время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Гамма-процентное время до восстановления - длительность времени до восстановления, которая не будет превышена с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Интенсивность восстановления - условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

Показатели долговечности

Средний ресурс - математическое ожидание ресурса.

Гамма-процентный ресурс - суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Средний срок службы - математическое ожидание срока службы.

Гамма-процентный срок службы - календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Показатели сохраняемости

Средний срок сохраняемости - математическое ожидание срока сохраняемости.

Гамма-процентный срок сохраняемости - срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью γ , выраженной в процентах.

Комплексные показатели надежности

Коэффициент готовности - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени.

Коэффициент неготовности - вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в данный момент времени.

Коэффициент оперативной готовности - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Коэффициент технического использования - 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 простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период.

Коэффициент сохранения эффективности - отношение значения показателя эффективности использования объекта по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают.

2.1.4. Содержание отчета по практическому занятию №1

1. Тема практического занятия.

2. Цель практического занятия.

3. Объект практического занятия.

4. Методика анализа понятий, терминов и определений надежности технических объектов

- изучение понятий, терминов и определений надежности технических объектов,

- определение признаков классификации терминов надежности 1-го уровня,

- изучение классификации терминов надежности 1-го уровня (табл. 2.1.1.),

- определение признаков классификации 2-го уровня,

- изучение классификации терминов надежности 2-го уровня (табл.

2.1.2.).

5. Результаты практического занятия

- классификация основных терминов и определений надежности технических объектов по форме табл. П. 1.1,

- основные термины и определения надежности технических объектов по форме табл. П. 1.2.

6. Заключение по практическому занятию.

Фамилия, И.О. студента, группа, (подпись), дата

Вопросы для самопроверки

1. Двухуровневая классификация стандартизованных терминов надежности технических объектов.

2. Понятия, термины и определения технических объектов.

3. Понятия, термины и определения состояний технических объектов.

4. Понятия, термины и определения событий технических объектов.

5. Понятия, термины и определения свойств надежности технических объектов.

6. Понятия, термины и определения временных характеристик технических объектов.

7. Понятия, термины и определения показателей надежности технических объектов.

2.2. Практические занятия № 2

Тема: Анализ стандартизованных понятий, терминов и определений по обеспечению надежности технических объектов

Цель: закрепление знаний по теме «Анализ стандартизованных понятий, терминов и определений по обеспечению надежности технических объектов»; изучение стандартизованных понятий, терминов и определений по обеспечению надежности технических объектов.

2.2.1. Объект практического занятия

Объектом практического занятия являются стандартизованные понятия, термины и определения по обеспечению надежности технических объектов по

ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» и ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Система управления надежностью.

2.2.2. Содержание практического занятия

- двухуровневая классификация стандартизованных терминов обеспечения надежности технических объектов;
- анализ стандартизованных понятий, терминов и определений резервирования технических объектов;
- анализ стандартизованных понятий, терминов и определений технического обслуживания, восстановления и ремонта технических объектов;
- анализ стандартизованных понятий, терминов и определений разработки, обеспечения и анализа надежности технических объектов;
- анализ стандартизованных понятий, терминов и определений испытаний на надежность технических объектов;
- анализ стандартизованных понятий, терминов и определений управления надежностью;
- подготовка отчета по результатам выполнения практического занятия № 2.

2.2.3. Необходимые теоретические сведения

Для структуризации терминологии по обеспечению надежности и методического обеспечения ее изучения и применения выполнена двухуровневая классификация стандартизованных терминов по обеспечению надежности по ГОСТ 27.002-2015. 2015 «Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения» и ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Система управления надежностью.

На 1-м уровне классификации приняты следующие признаки (табл.2.2.1) для терминов обеспечения надежности - резервирование технических объектов; техническое обслуживание, восстановление и ремонт технических объектов; разработка, обеспечение, анализ надежности технических объектов; испытания на надежность технических объектов; управление надежностью технических объектов.

На 2-м уровне классификации приняты следующие признаки (табл. 2.2.2):

для резервирования технических объектов - элементы резервирования; вид резерва; порядок резервирования; вид объекта резервирования; наличие восстановления;

для технического обслуживания, восстановления и ремонта технических объектов - техническое обслуживание; восстановление и ремонт; восстановление и ремонт; запасные части и приспособления;

для разработки, обеспечения, анализа надежности технических объектов - нормирование надежности; оценка и прогнозирование надежности; обеспечение надежности; расчетно-экспериментальные методы;

для испытаний на надежность технических объектов - оценка показателей надежности; условия испытаний; режимы испытаний;

для управления надежностью технических объектов - система управления надежностью; обеспечение надежности.

Определения основных понятий по обеспечению надежности технических объектов сгруппированы по признакам 1-го уровня.

Определения понятий резервирования технических объектов

Резервирование - способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и/или возможностей сверх минимально необходимых для выполнения требуемых функций.

Резерв - совокупность дополнительных средств и/или возможностей, используемых для резервирования.

Основной элемент - элемент объекта, необходимый для выполнения требуемых функций без использования резерва.

Резервный элемент - элемент объекта, предназначенный для выполнения функций основного элемента в случае отказа последнего.

Кратность резерва - отношение числа резервных элементов к числу основных элементов, выраженное несокращенной дробью.

Нагруженный резерв - резерв, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в режиме основного элемент.

Облегченный резерв - резерв, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в менее нагруженном режиме, чем основной элемент до начала выполнения ими функций основного элемента.

Ненагруженный резерв - резерв, который содержит один или несколько резервных элементов, находящихся в ненагруженном режиме до начала выполнения ими функций основного элемента.

Постоянное резервирование - резервирование, при котором используется нагруженный резерв, и при отказе любого элемента в резервированной группе выполнение объектом требуемых функций обеспечивается оставшимися элементами без переключений.

Резервирование замещением - резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только при отказе основного элемента.

Общее резервирование - резервирование, при котором резервируется объект в целом.

Раздельное резервирование - резервирование, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы.

Переключающий элемент - элемент объекта, предназначенный для подключения исправного резервного элемента объекта вместо отказавшего основного элемента.

Вероятность успешного перехода на резерв - вероятность того, что переход на резерв произойдет без отказа объект.

Смешанное резервирование - сочетание различных видов резервирования в одном и том же объекте.

Резервирование без восстановления - резервирование, при котором восстановление отказавших основных элементов и/или резервных технически невозможно без нарушения работоспособности объекта в целом и/или не предусмотрено эксплуатационной документацией.

Резервирование с восстановлением - резервирование, при котором восстановление отказавших основных элементов и/или резервных технически возможно без нарушения работоспособности объекта в целом и предусмотрено эксплуатационной документацией.

Мажоритарное резервирование - резервирование, при котором в нагруженном режиме находится нечетное количество не менее трех однотипных элементов и результатом работы объекта принимается одинаковый результат работы большинства основных элементов.

Определения понятий технического обслуживания, восстановления и ремонта технических объектов

Система технического обслуживания и ремонта - совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления работоспособного состояния объекта.

Техническое обслуживание; ТО - комплекс организационных мероприятий и технических операций, направленных на поддержание работоспособности (исправности) объекта и снижение вероятности его отказов при использовании по назначению, хранении и транспортировании.

Восстановление - процесс и событие, заключающиеся в переходе объекта из неработоспособного состояния в работоспособное.

Самовосстановление - восстановление объекта без вмешательства извне.

Ремонт - комплекс технических операций и организационных действий по восстановлению исправного или работоспособного состояния объекта и восстановлению ресурса объекта или его составных частей.

Мониторинг технического состояния - составная часть технического обслуживания, заключающаяся в наблюдении за объектом с целью получения информации о его техническом состоянии и рабочих параметрах.

Замена - процедура поддержания или восстановления работоспособности объекта путем установки запасной части вместо отказавшего или изношенного элемента объект.

Запасная часть - отдельный узел, устройство или элемент, предназначенные для замены изношенных, неисправных или отказавших составных частей объекта с целью поддержания или восстановления его работоспособного состояния.

Таблица 2.2.1

Классификация терминов обеспечения надежности

По ГОСТ 27.002-2015

Резервирование	Техническое обслуживание, восстановление и ремонт	Разработка, обеспечение, анализ	Испытания на надежность	Управление надежностью (по ГОСТ Р 27.001-2009)
<ul style="list-style-type: none"> • Резервирование - нагруженное - облегченное - ненагруженное - постоянное - замещением - общее - раздельное - смешанное - без восстановления - с восстановлением - можоритарное <p>Резерв</p> <ul style="list-style-type: none"> - основной элемент - резервный элемент - критный резерв - нагруженный резерв - облегченный резерв - ненагруженный резерв 	<ul style="list-style-type: none"> • Система технического обслуживания и ремонта • Техническое обслуживание • Восстановление • Самовосстановление • Ремонт • Мониторинг технического состояния • Замена • Запасная часть • Запасные части, инструменты и принадлежности: ЗИП • Комплект ЗИП • Система ЗИП 	<ul style="list-style-type: none"> • Нормируемый показатель надежности • Нормирование надежности • Распределение требований • Структурная схема надежности • Программа обеспечения надежности • Оценка надежности • Прогнозирование надежности • Контроль надежности • Расчетный метод определения надежности • Расчетно-экспериментальный метод определения надежности • Экспериментальный метод определения надежности • Модель надежности • Анализ отказов • Отбраковочные испытания 	<ul style="list-style-type: none"> • Испытания на надежность • Определительные испытания на надежность • Контрольные испытания на надежность • Лабораторные испытания на надежность • Эксплуатационные испытания на надежность • Нормальные испытания • Ускоренные испытания • Коэффициент ускорения испытаний • План испытаний на надежность 	<ul style="list-style-type: none"> • Предприятие • Система управления надежностью • Объект системы управления надежностью • Элемент системы управления надежностью • Управление надежностью • Обеспечение надежности • Программа обеспечения надежности

Таблица 2.2.2.

Двухуровневая классификация терминов обеспечения надежности технических объектов

1	2	3
1. Резервирование	1.1. Элементы резервирования	1.1.1. Основной элемент
		1.1.2. Резервный элемент
	1.2. Вид резерва	1.2.1. Резерв
		1.2.2. Кратность резерва
		1.2.3. Нагруженный резерв
		1.2.4. Облегченный резерв
		1.2.5. Ненагруженный резерв
	1.3. Порядок резервирования	1.3.1. Резервирование
		1.3.2. Постоянное резервирование
		1.3.3. Резервирование замещением
		1.3.4. Мажоритарное резервирование
		1.3.5. Вероятность успешного перехода на резерв
	1.4. Вид объекта резервирования	1.4.1. Общее резервирование
		1.4.2. Раздельное резервирование
		1.4.3. Смешанное резервирование
		1.4.4. Переключающий элемент
	1.5. Наличие восстановления	1.5.1. Резервирование без восстановления
1.5.2. Резервирование с восстановлением		
2. Техническое обслуживание, восстановление, ремонт	2.1. Техническое обслуживание	2.1.1. Система технического обслуживания и ремонта
		2.1.2. Техническое обслуживание; ТО
		2.1.3. Мониторинг технического состояния
	2.2. Восстановление и ремонт	2.2.1. Восстановление
		8.2.2. Самовосстановление
		8.2.3. Ремонт
		8.2.4. Замена
	2.3. Запасные части и приспособления	2.3.1. Запасная часть
		2.3.2. Запасные части, инструменты и принадлежности: ЗИП
		2.3.3. Комплект ЗИП
		2.3.4. Система ЗИП
	3. Разработка, обеспечение, анализ	3.1. Нормирование надежности
3.1.2. Нормирование надежности		
3.1.3. Распределение требований		
3.2. Оценка и прогнозирование надежности		3.2.1. Оценка надежности
		3.2.2. Модель надежности
		3.2.3. Прогнозирование надежности
3.3. Обеспечение надежности		3.3.1. Программа обеспечения надежности
		3.3.2. Контроль надежности
		3.3.3. Анализ отказов
		3.3.4. Отбраковочные испытания

Продолжение табл. 2.2.2.

1	2	3
	3.4. Расчетно-экспериментальные методы	3.4.1. Расчетный метод определения надежности 3.4.2. Расчетно-экспериментальный метод определения надежности 3.4.3. Экспериментальный метод определения надежности 3.4.3. Структурная схема надежности
4. Испытания на надежность	4.1. Оценка показателей надежности	4.1.1. Испытания на надежность 4.1.2. Определительные испытания на надежность 4.1.3. Контрольные испытания на надежность
	4.2. Условия испытаний	4.2.1. Лабораторные испытания на надежность 4.2.2. Эксплуатационные испытания на надежность 4.2.3. План испытаний на надежность
	4.3. Режимы испытаний	4.3.1. Нормальные испытания 4.3.2. Ускоренные испытания 4.3.3. Коэффициент ускорения испытаний
5. Управление надежностью	5.1. Система управления надежностью	5.1.1. Предприятие 5.1.2. Система управления надежностью 5.1.3. Объект системы управления надежностью 5.1.4. Элемент системы управления надежностью 5.1.5. Управление надежностью
	5.2. Обеспечение надежности	5.2.1. Обеспечение надежности 5.2.2. Программа обеспечения надежности

Запасные части, инструменты и принадлежности: ЗИП - совокупность запасов материальных средств, сформированная в зависимости от назначения и особенностей использования объекта и предназначенная для его функционирования, технического обслуживания и ремонта.

Комплект ЗИП - набор запасных частей, инструментов, принадлежностей и расходных материалов, необходимых для функционирования, технического обслуживания и ремонта объекта.

Система ЗИП - совокупность комплектов ЗИП разных видов и уровней иерархии, необходимых для поддержания и восстановления работоспособности объекта или совокупности объектов.

Определения понятий разработки, обеспечения, анализа надежности технических объектов

Нормируемый показатель надежности - показатель надежности, значение которого регламентировано нормативно-технической и/или конструкторской (проектной) документацией на объект.

Нормирование надежности - установление в нормативно-технической документации и/или конструкторской (проектной) документации количественных и качественных требований к надежности объекта.

Распределение требований - распределение требований к показателям надежности объекта между его составными частями.

Структурная схема надежности - логическое и графическое представление объекта, отображающее, каким образом безотказность его блоков и их сочетаний влияют на безотказность объекта.

Программа обеспечения надежности - документ, устанавливающий перечень и порядок проведения на разных стадиях жизненного цикла объекта организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение надежности и (или) на ее повышение.

Оценка надежности - определение численных значений показателей надежности объекта.

Прогнозирование надежности - предварительная оценка надежности объекта на основании предшествующего опыта или статистики.

Контроль надежности - определение соответствия показателей надежности объекта заданным требованиям.

Расчетный метод определения надежности - метод, основанный на вычислении показателей надежности по справочным данным о надежности компонентов и комплектующих элементов объекта, по данным о надежности объектов-аналогов, по данным о свойствах материалов и другой информации, имеющейся к моменту расчета надежности.

Расчетно-экспериментальный метод определения надежности - метод оценки надежности объекта путем расчета, при котором показатели надежности всех или некоторых составных частей объекта определены экспериментально.

Экспериментальный метод определения надежности - метод оценки показателей надежности путем статистической обработки данных, полученных при испытаниях или эксплуатации объекта в целом.

Модель надежности - математическая модель объекта, используемая для прогнозирования или оценки надежности.

Анализ отказов - исследование отказов, направленное на определение различных факторов, влияющих на надежность (причин отказов, составляющих времени восстановления, эффективности резервирования и т. д.).

Отбраковочные испытания - испытание или набор испытаний, предназначенные для обнаружения и удаления из выборки дефектных объектов или объектов, подверженных риску ранних отказов.

Определения испытаний на надежность технических объектов

Испытания на надежность - испытания, проводимые с целью определения и/или контроля показателей надежности в заданных условиях.

Определительные испытания на надежность - испытания, проводимые для оценки показателей надежности.

Контрольные испытания на надежность - испытания, проводимые для проверки соответствия показателей надежности заданным требованиям.

Лабораторные испытания на надежность - испытания, проводимые в лабораторных условиях.

Эксплуатационные испытания на надежность - испытания, проводимые в реальных условиях эксплуатации объекта.

Нормальные испытания - испытания на надежность, методы, режимы и условия проведения которых максимально приближены к эксплуатационным для объекта.

Ускоренные испытания - испытания на надежность, методы, режимы и условия проведения которых обеспечивают получение информации о надежности объекта в более короткий срок, чем при испытаниях, проводимых в реальных условиях эксплуатации объекта.

Коэффициент ускорения испытаний - отношение значений времени получения информации об оцениваемом показателе надежности в нормальном и ускоренном режимах.

План испытаний на надежность - совокупность правил, устанавливающих объем выборки, порядок проведения испытаний, критерии их завершения и принятия решений по результатам испытаний на надежность.

Определения понятий управления надежностью технических объектов

Предприятие - организация любой ведомственной принадлежности и формы собственности, осуществляющая деятельность на стадиях жизненного цикла изделия: заказывающая, проектирующая, разрабатывающая, изготавливающая, испытывающая, поставляющая, транспортирующая, монтирующая, обслуживающая, ремонтирующая или утилизирующая изделие.

Система управления надежностью; СУН - совокупность всех средств предприятия по управлению надежностью.

Объект системы управления надежностью - объект (изделие, система, комплекс, комплект), который рассматривают отдельно с позиции управления надежностью, состоящий из технических или программных средств, или их сочетания.

Элемент системы управления надежностью - часть СУН, необходимая для выполнения определенной функции (группы функций) по управлению надежностью.

Управление надежностью - совокупность координируемых действий, являющихся частью общего управления предприятием, осуществляемых в целях выполнения требований к надежности изделий.

Обеспечение надежности - совокупность координируемых действий, являющихся частью СУН и ориентированных на достижение, поддержание и подтверждение требуемого уровня надежности изделий.

Программа обеспечения надежности; ПОН - документ, устанавливающий комплекс взаимосвязанных организационных и технических

мероприятий, методов, средств, требований и норм, направленных на выполнение установленных в документации на изделие (объект СУН) требований к надежности.

2.2.4. Содержание отчета по практическому занятию №2

1. Тема практического занятия.

2. Цель практического занятия.

3. Объект практического занятия.

4. Методика анализа понятий, терминов и определений надежности технических объектов

- изучение понятий, терминов и определений надежности технических объектов,

- определение признаков классификации терминов надежности 1-го уровня,

- изучение классификации терминов надежности 1-го уровня (табл. 2.2.1.),

- определение признаков классификации 2-го уровня,

- изучение классификации терминов надежности 2-го уровня (табл. 2.2.2.).

5. Результаты практического занятия

- классификация основных терминов и определений надежности технических объектов по форме табл. П. 2.1,

- основные термины и определений надежности технических объектов по форме табл. П. 2.2.

6. Заключение по практическому занятию.

Фамилия, И.О. студента, группа, (подпись), дата.

Вопросы для самопроверки

1. Двухуровневая классификация стандартизованных терминов обеспечения надежности технических объектов.

2. Понятия, термины и определения резервирования технических объектов.

3. Понятия, термины и определения технического обслуживания, восстановления и ремонта технических объектов.

4. Понятия, термины и определения разработки, обеспечения и анализа надежности технических объектов.

5. Понятия, термины и определения испытаний технических объектов.

6. Понятия, термины и определения управления надежностью технических объектов.

2.3. Практическое занятие № 3

Тема: Модели надёжности невосстанавливаемых изделий

Цель: Изучение распределений непрерывной случайной величины - наработки до отказа невосстанавливаемых изделий.

2.3.1. Необходимые теоретические сведения

Невосстанавливаемый объект - объект, восстановление работоспособного состояния которого не предусмотрено документацией. Поскольку факторы, влияющие на отказ объекта, носят случайный характер, то отказ объекта является случайным событием, а время работы (наработка) объекта до отказа представляет собой случайную величину.

Эти случайные величины подчиняются определенным закономерностям, которые выражаются законами распределения случайных величин.

Для невосстанавливаемых изделий в качестве моделей надежности рассматриваются законы распределения наработки до отказа (непрерывных случайных величин): экспоненциальный, нормальный и закон распределения Вейбулла. Характеристики этих законов приведены (табл. 2.3.2).

Установление закономерностей основывается на обработке статистических данных – наработки изделий до отказа, полученных в результате эксплуатационных наблюдений (испытаний). В табл. 2.3.3 приведены расчетные формулы для показателей безотказности невосстанавливаемых объектов.

2.3.2. Последовательность выполнения работы

1. Получение варианта исходных данных, приведенных в табл. 2.3.1. Помимо приведенных в таблице вариантов преподаватель может выдать дополнительные данные.

2. Построение вариационного ряда, если исходные данные о наработках до отказа даны не в порядке возрастания.

3. Разбиение вариационного ряда на интервалы. Приближенная оценка ширины интервала может быть сделана по формуле

$$\Delta \tau = \frac{\tau_{\max} - \tau_{\min}}{1 + 3,2 \lg n},$$

где τ_{\max}, τ_{\min} - максимальное и минимальное значение периода наблюдений, n - количество наблюдаемых объектов.

4. Определение средней наработки до отказа T_{cp} .

5. Определение статистических значений $P^*(t)$, $f^*(t)$, $\lambda^*(t)$ и построение гистограмм этих характеристик.

6. Сравнение гистограмм $f^*(t)$, $\lambda^*(t)$ с графиками теоретических кривых законов распределения, приведенными в табл.2.3.2., и выдвижение гипотезы о виде закона распределения рассматриваемой случайной величины (процедура проверки гипотезы о предполагаемом законе распределения будет рассмотрена в ПЗ №6).

7. Определение параметров предполагаемого закона распределения рассматриваемой случайной величины (табл. 2.3.2., табл. П.3.1., табл. П.3.2.).

8. Определение вероятности безотказной работы за наработку $t = 3ч$, $t = 300$ часов.

9. Оформление результатов выполненных расчетов по форме табл. 2.3.4.

2.3.4. Составление отчета по результатам выполнения практического

занятия № 3, содержащего:

- наименование практического занятия,
- цель, задачи практического занятия,
- оценка показателей надежности восстанавливаемых объектов;
- выводы по практическому занятию № 3.

Вопросы для самопроверки

1. Физическая сущность безотказности восстанавливаемых изделий.
2. Использование распределений непрерывных случайных величин в качестве модели безотказности восстанавливаемых изделий.
3. Характеристики экспоненциального закона распределения наработки до отказа.
4. Характеристики нормального закона распределения наработки до отказа.
5. Характеристики закона распределения Вейбулла наработки до отказа.
6. Вероятность безотказной работы восстанавливаемого объекта.
7. Изменение плотности вероятности наработки до отказа при разных законах распределения.
8. Изменение интенсивности отказов от наработки при разных законах распределения.
9. Аналитические зависимости между показателями безотказности восстанавливаемых объектов.

Таблица 2.3.1.

Статистические данные для расчета
N=n=30 (полная выборка)

№ варианта	Наработки до отказа
1	823, 422, 737, 454, 989, 1071, 949, 1058, 842, 682, 1107, 887, 1560, 498, 740, 563, 413, 423, 510, 693, 590, 648, 1233, 674, 747, 1419, 1333, 545, 494, 518
2	1158, 1187, 1549, 926, 972, 1474, 1018, 1327, 871, 1513, 1115, 1047, 1228, 1208, 1000, 1211, 1044, 1331, 1755, 800, 908, 1076, 1336, 1114, 1237, 1645, 1355, 1429, 1176, 1300
3	1656, 2196, 1890, 1692, 1602, 1332, 1818, 2106, 2052, 1980, 1836, 1440, 1314, 1260, 1728, 1512, 1944, 1512, 2016, 1584, 1926, 1548, 1746, 1764, 1710, 2250, 1764, 1710, 1656, 1386
4	1277, 1410, 1334, 1498, 1227, 1767, 1181, 1108, 1589, 1211, 1613, 1436, 1186, 1468, 1355, 1226, 1325, 1243, 1527, 1178, 1307, 1323, 1340, 1398, 1458, 1646, 1822, 1421, 1290, 1545
5	261, 294, 198, 298, 543, 216, 196, 748, 685, 369, 861, 279, 156, 504, 131, 112, 482, 552, 118, 400, 423, 310, 315, 279, 906, 624, 189, 140, 192, 489

Таблица 2.3.2

Характеристики законов распределения наработки до отказа

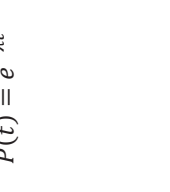
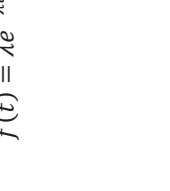
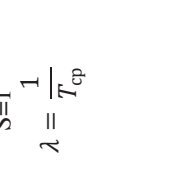
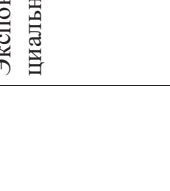
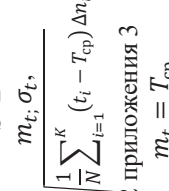
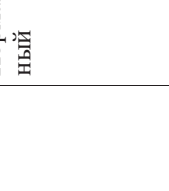
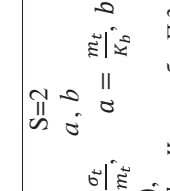

Наименование закона распределения	Параметры	Математические выражения		Графики	
		Плотность распределения	Вероятность безотказной работы	Плотность распределения	Вероятность безотказной работы
1	2	3	4	5	6
Экспоненциальный	$S=1$ $\lambda = \frac{1}{T_{\text{ср}}}$	$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$	$P(t) = e^{-\lambda t}$		
Нормальный	$S=2$ $m_t, \sigma_t,$ $\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^K (t_i - T_{\text{ср}})^2 \Delta n_i}$ П.3.2 приложения 3 $m_t = T_{\text{ср}}$	$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-T_{\text{ср}})^2}{2\sigma_t^2}}$	$P(t) = 1 - \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_0^t e^{-\frac{(\tau-T_{\text{ср}})^2}{2\sigma_t^2}} d\tau$ $P(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-m_t}{\sigma_t}\right)$		
		$f(t) = \frac{b}{a} t^{b-1} e^{-\frac{1}{a} t^b}$	$P(t) = e^{-\left(\frac{1}{a} t^b\right)}$		
Вейбулла	$S=2$ a, b $\vartheta = \frac{\sigma_t}{m_t},$ $f(\vartheta),$ где b и K_b по табл. П.3.1 приложения 3	$f(t) = \frac{b}{a} t^{b-1} e^{-\frac{1}{a} t^b}$	$P(t) = e^{-\left(\frac{1}{a} t^b\right)}$		

Таблица 2.3.3

Показатели безотказности невосстанавливаемых объектов

№	Наименование показателей	Определения	Расчетные формулы		Примечания
			теоретические	статистические	
1	Вероятность безотказной работы, $P(t)$	4	5	6	7
1	Вероятность безотказной работы, $P(t)$	Вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет	$P(t) = 1 - F(t)$	$P_i^*(t) = 1 - \frac{n_i(t)}{N}$	t - наработка объекта, ч $F(t)$ - функция распределения наработки до отказа, $n_i(t)$ - количество отказов за время (наработку) t , N - количество изделий, находящихся под наблюдением
2	Плотность вероятности наработки до отказа, $f(t)$	Плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для наработки t	$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$	$f_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{N * \Delta t_i}$	Δn_i - количество отказов в интервале Δt_i , Δt_i - интервал времени (наработки)
3	Интенсивность отказов, $\lambda(t)$	Условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник	$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = - \frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt} = \frac{1}{1 - F(t)} \cdot \frac{dF(t)}{dt}$	$\lambda_i(t) = \frac{\Delta n_i}{[N - n_i(t)] * \Delta t_i}$	

Продолжение табл. 2.3.3.

<p>Средняя наработка до отказа, T_{cp}</p>	<p>Математическое ожидание наработки до отказа</p>	$T_{cp} = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} t dF(t)$	<p><i>Полная выборка</i> $n = N$ $T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$ <i>Усеченная выборка</i> $n < N$ $T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i + \frac{N-n}{n} T$ $T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i^{(c)} \Delta n_i + \frac{N-n}{n} T$ <p>где t_i - значение i-ой наработки до отказа; $t_i^{(c)}$ - значение середины i-го интервала; $t_i^{(c)} = \frac{t_i + t_{i+1}}{2}$ t_i и t_{i+1} - левая и правая границы i-го интервала; k - количество интервалов при обработке статистики</p> </p>	<p>T - период наблюдения, ч</p>
---	--	--	--	---------------------------------

Таблица 2.3.4

Расчет показателей безотказности невосстанавливаемых изделий

Исходные статистические данные	№ интервала	1	2	3	4	5
	$t_2 - t_1$					
	Δn_i					
Статистические характеристики N= n=	$n_i(t)$					
	$f_i^*(t)$					
	$\lambda_i^*(t)$					
	$P_i^*(t)$					
Гипотеза о законе распределения наработки до отказа	наименование					
	вид функции распределения					
Параметры закона распределения	λ					
	T_{cp}/σ					
	a / b					
Искомые величины	$P(t=300ч)$					
	средняя наработка до отказа $T_{cp} =$					

2.4. Практическое занятие № 4

Тема: Модели надежности восстанавливаемых изделий

Цель: Изучение распределенной случайной дискретной величины - количества отказов восстанавливаемых изделий за период наблюдения.

2.4.1 Необходимые теоретические сведения

Восстанавливаемый объект - объект, восстановление работоспособного состояния которого предусмотрено документацией.

Эксплуатация восстанавливаемых изделий может быть описана следующим образом: в начальный момент времени объект начинает работу и работает до отказа, после отказа происходит восстановление работоспособности и объект вновь работает до отказа и т.д. При этом время восстановления не учитывается, т.е. учитывается только время наработки. Для таких объектов моменты отказов на оси суммарной наработки образуют поток отказов.

В качестве характеристики потока отказа используют "ведущую функцию" $\Omega(t)$ данного потока - математическое ожидание числа отказов за наработку t

$$\Omega(t) = M[r(t)], \quad (2.4.1)$$

где M - символ математического ожидания, $r(t)$ - число отказов за наработку t .

Параметр потока отказов $\omega(t)$ - производная от функции $\Omega(t)$ и характеризует число отказов, в данный момент наработки t

$$\omega(t) = \frac{d\Omega(t)}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[r(t + \Delta t)] - M[r(t)]}{\Delta t}. \quad (2.4.2)$$

Связь параметра потока отказов с ведущей функцией определяется соотношением

$$\Omega(t) = \int_0^t \omega(x) dx. \quad (2.4.3)$$

Закон распределения количества отказов, как дискретной случайной величины, за период наблюдения может быть описан законом Пуассона

$$P(n, \omega, t) = \frac{(\omega t)^n}{n!} e^{-\omega t}, \quad (2.4.4)$$

где $P(n, \omega, t)$ - вероятность того, что рассматриваемое событие (отказ) за время t появляется ровно n раз.

Для определения количества запасных частей r для замены отказавших изделий используется зависимость

$$P_{\text{гдоп}} = \sum_{n=0}^r \frac{(\omega t)^n}{n!} e^{-\omega t} \quad (2.4.5)$$

где: $P_{\text{гдоп}}$ - вероятность того, что для замены отказавшихся изделий будет достаточно r запасных частей.

При $r=0$ (не появление ни одного отказа), вероятность безотказной работы равна

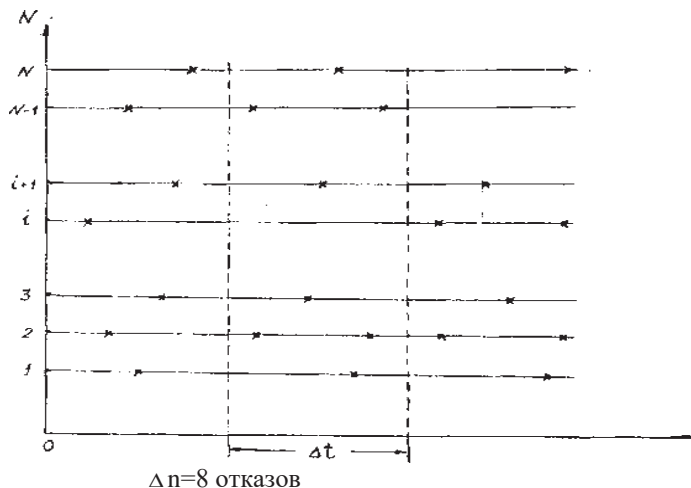
$$P(\omega t) = e^{-\omega t}. \quad (2.4.6)$$

Формула справедлива при $\omega(t) = \text{const}$. В случае переменного значения параметров отказов, т.е. $\omega(t) \neq \text{const}$, вероятность безотказной работы в интервале (t_1, t_2) определяется по формуле:

$$P[\omega(t), t_1, t_2] = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt}. \quad (2.4.7)$$

Статистические расчеты, как и в случае определения показателей безотказности невосстанавливаемых изделий, проводятся путем разбиения всего периода наработки на интервалы. Однако, смысл количества отказов за выделенный интервал наработки имеет в случае анализа показателей безотказности восстанавливаемых изделий свои особенности. Рассмотрим временную диаграмму отказов восстанавливаемых изделий (рис. 2.4.1).

В расчете количества отказов за интервал Δt в этом случае берутся все отказы, в том числе и два или большее число отказов одного изделия. Общее же число изделий N остается одинаковым, несмотря на то, что в интервале Δt некоторые изделия не отказали.



$\Delta n = 8$ отказов

Рис. 2.4.1. Временная диаграмма отказов восстанавливаемых изделий
Поэтому параметр потока отказов определяется зависимостью

$$\omega^*(t) = \frac{\Delta n}{N \Delta t} \quad (2.4.8)$$

Расчетные зависимости показателей безотказности восстанавливаемых изделий приведены в табл. 2.4.1.

Таблица 2.4.1

Показатели безотказности восстанавливаемых объектов

№	Наименование показателя	Обозначение	Определение	Расчетная формула		Примечание
				теоретическая	статистическая	
1.	Параметр потока отказов	$\omega(t)$	Предел отношения вероятности возникновения отказа восстанавливаемого объекта за достаточно малый интервал времени к длительности этого интервала, стремящейся к нулю	$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[r(t + \Delta t)] - M[r(t)]}{\Delta t}$ $= \Omega(t),$ где $M[r(t + \Delta t)], M[r(t)]$ - математическое ожидание, Ω_t - ведущая функция $\Omega(t) = \int_0^t \omega(x) dx.$	$\omega^*(t) = \frac{\Delta n}{N \Delta t},$ где Δn - количество отказов на интервале Δt N - кол-во изделий	

Продолжение табл.2.4.1.

2.	Вероятность безотказной работы	$P(t_1, t_2)$	По табл.2.3.3	При $\omega(t) = const$ $P(t) = e^{-\omega t}$. При $\omega(t) \neq const$ $P(t_1, t_2) = e^{-\int_{t_1}^{t_2} \omega(t) dt}$	По табл.2.3.3	По табл. 2.3.3.
3.	Средняя наработка на отказ	T_0	Отношение наработки восстановленного объекта к математическому ожиданию числа отказов	$T_0 = \frac{t_2 - t_1}{M[r]}$, где $t_{1,2}$ - начало и конец периода наблюдений, $M[r]$ - математическое ожидание числа отказов	$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i^{(c)} \Delta n_i + \frac{N-n}{n} T$, где $t_i^{(c)}$ — значение середины i -го интервала $T_0 = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}$ (по табл.2.3.3)	Нарabотка на один отказ в интервале суммарной наработки. При $\omega(t) = const$ $T_0 = \frac{1}{\omega}$,

2.4.2. Последовательность выполнения работы

1. Получение варианта статистических данных для расчета. Варианты статистических данных приведены в табл. 2.4.2. Кроме указанных вариантов преподаватель может выдать дополнительные данные. Время наработки в табл. 2.4.2 разбито на одинаковые интервалы.

Таблица 2.4.2

Статистические данные для расчета $N=200$

Интервалы наработок часов	Количество отказов за интервал наработки				
	1 вариант	2 вариант	3 вариант	4 вариант	5 вариант
0-300	6	8	6	5	20
300-600	8	10	9	10	18
600-900	10	18	11	12	16
900-1200	12	20	15	17	16
1200-1500	14	16	18	16	15
1500-1800	8	11	14	15	12
1800-2100	6	10	16	14	10
2100-2400	5	9	12	13	8

2. Определение статистических значений и построение гистограмм $\omega^*(t)$, анализ характера изменения параметра потока отказов: $\omega^*(t) = const$ или $\omega^*(t) \neq const$.

3. Выбор зависимости для закона распределения.
4. Определение вероятности безотказной работы восстанавливаемых изделий за $t=1000$ ч.
5. Определение средней наработки на отказ изделий T_0 .
6. Определение количества запасных частей для восстановления эксплуатируемого парка самолетов за $t=1000$ ч. Расчеты выполнять, используя формулу (2.4.5).
7. Результаты расчетов представить по форме табл. 2.4.3

Таблица 2.4.3

Расчет показателей безотказности восстанавливаемых изделий

Исходные статистические данные	Интервалы наработок	1	2	3	4	5	6	7	8
	Δt								
Δn									
Статистические значения	$\omega^*(t)$								
Теоретические значения	Закон распределения (наименование)	$\omega(t) =$							
	Вид функции распределения								
	$P(t)$ ($t=1000$ ч)	$P(t) =$							
	$P_r(t)$								
Искомые величины	Средняя наработка на отказ T_0								
	Количество запасных частей при $T=1000$ ч								

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризовать физическую сущность безотказности восстанавливаемых изделий.
2. Какие функции распределения числа отказов используются в качестве моделей безотказности восстанавливаемых изделий?
3. Привести характеристики и условия применения распределения Пуассона.
4. Охарактеризовать зависимость для определения количества запасных частей r для замены отказавших изделий
5. Привести аналитические зависимости между характеристиками безотказности восстанавливаемых объектов.

2.5. Практическое занятие № 5

Тема: Непараметрические методы оценки показателей надежности

Цель: Изучение непараметрических методов определения показателей надежности изделий.

2.5.1. Необходимые теоретические сведения

Непараметрические методы оценки показателей надежности – методы, не предполагающие знания вида распределения генеральной совокупности. Название «Непараметрические методы» подчеркивает их отличие от параметрических методов, в которых предполагается, что генеральное распределение известно с точностью до конечного числа параметров. Классификация методов оценки показателей надежности приведена на рис. 2.5.1.

Непараметрические методы позволяют по результатам наблюдений оценивать неизвестные значения показателей. Для нахождения точечных оценок показателей надежности наибольшее распространение получил метод максимального подобия. Перечень показателей надежности и их расчетные формулы приведены в табл. 2. 5.1.

2.5.2. Последовательность выполнения работы

1. Получение варианта статистических данных для оценки показателей надежности (табл. 2.5.2). Для получения исходных статистических данных вариантов следует Δt , Δt_b , Δt_c , увеличить в α раз ($\alpha=1-5$ назначается преподавателем).

2. Пользуясь формулами, приведенными в таблице 2.5.1 рассчитать приведенные в этой таблице показатели надежности.



Рис.2.5.1. Классификация методов оценки

Таблица 2.5.1

Оценка показателей надежности непараметрическими методами

Свойства надежности	Наименование	Расчетная формула	Обозначения
1	2	3	4
Безотказность	Вероятность безотказной работы, $P(t)$	$P^*(t) = 1 - \frac{n_i(t)}{N}$	$n_i(t)$ — количество отказов, накопленное на начало исследуемого интервала Δt , N - количество объектов, находящихся под наблюдением
	Средняя наработка до отказа, T_{cp}	$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k t_i^{(c)} \Delta n_i$ (полная выборка)	$t_i^{(c)}$ – значение середины i -го интервала; $t_i^{(c)} = \frac{t_i^I + t_i^{II}}{2}$, t_i^I и t_i^{II} - левая и правая границы i -го интервала; Δn_i - число отказавших элементов в i -м интервале; k - количество интервалов при обработке статистики
	Интенсивность отказов, $\lambda_i^*(t)$	$\lambda_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{[N_i - n_i(t)] * \Delta t_i}$	Δn_i —число отказавших изделий в интервале Δt_i ; N_i — число изделий, наблюдаемых в интервале Δt_i ; $n_i(t)$ — количество отказов, накопленное на начало исследуемого интервала Δt .
	Средняя наработка на отказ, T_0	$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k t_i^{(c)} \Delta n_i + \frac{N-n}{n} T$	$t_i^{(c)}$ – значение середины i -го интервала; $t_i^{(c)} = \frac{t_i^I + t_i^{II}}{2}$, t_i^I и t_i^{II} - левая и правая границы i -го интервала; Δn_i - число отказавших элементов в i -м интервале; n - число отказавших элементов за период наблюдения; T - период наблюдения.
	Параметр потока отказов, $\omega(t)$	$\omega_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{N_i \Delta t_i}$	Δn_i -количество отказов на интервале Δt_i N_i -кол-во изделий

Продолжение табл.2.5.1.

Долговечность	Средний ресурс, $T_{p\text{cp}}$	$T_{p\text{cp}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^K t_i^{(c)} \Delta n_i$	$t_i^{(c)}$ - значение середины i -го интервала, Δn_i - количество объектов в i -м интервале, N - количество объектов, находящихся под наблюдением
	Гамма-процентный ресурс $T_{p\gamma}$	$T_{p\gamma} = T_{p\text{cp}} \left(-\ln \frac{\gamma}{100} \right)$	γ – заданная вероятность, выраженная в процентах, с которой объект в течение наработки T_p не достигает предельного состояния
Ремонтопригодность	Вероятность восстановления работоспособного состояния, $P(t_B)$	$P(t_B) = \frac{n(t_B < t_{\text{зад}})}{N_B}$	t_B – время восстановления i -го объекта; N_B - количество фиксированных временем восстановлений объекта за установленный период наблюдения; $n(t_B < t_{\text{зад}})$ – количество раз, когда время восстановления не превышает заданное время восстановления объекта за установленный период времени.
	Среднее время восстановления работоспособного состояния, $T_{B\text{cp}}$	$T_{B\text{cp}} = \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^k t_{Bi}^{(c)} \Delta n_{Bi}$	$t_{Bi}^{(c)}$ - значение середины i -го интервала; Δn_{Bi} -количество восстановленных объектов в i – м интервале; N_B - общее количество восстановленных объектов.
Сохраняемость	Средний срок сохраняемости, $T_{c\text{cp}}$	$T_{c\text{cp}} = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^k t_{ci}^{(c)} \Delta n_{ci}$	$t_{ci}^{(c)}$ - значение середины i -го интервала Δn_i - количество объектов на хранении в интервале N_c -общее количество объектов на хранении.
	Гамма-процентный срок сохраняемости, $T_{c\gamma}$	$T_{c\gamma} = T_{c\text{cp}} \left(-\ln \frac{\gamma}{100} \right)$	γ - вероятность достижения гамма-процентного срока хранения, выраженная в процентах

Продолжение табл.2.5.1.

Готовность	Коэффициент готовности K_r	$K_r = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N T_{\text{раб}}}$ $= \frac{T_o}{T_o + T_{в\text{ ср}}}$	t_i -время пребывания объекта в работоспособном состоянии, N -количество объектов, $T_{\text{раб}}$ -продолжительность эксплуатации объекта, T_o -средняя наработка объекта на отказ, $T_{в\text{ ср}}$ - среднее время восстановления объекта
	Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$	$K_{ог} = K_r P(t),$ $P(t) = e^{-\omega t}$	

2.5.3. Составление отчета по результатам выполнения практического занятия № 5, содержащего:

- наименование практического занятия;
- цель, задачи практического занятия;
- оценка показателей надежности изделий непараметрическими методами;
- выводы по практическому занятию № 5.

Таблица 2.5.2

Статистические данные для оценки показателей надежности

Невосстанавливаемые изделия		Восстанавливаемые изделия					
N=62		N=300		N _B =125		N _C =65	
$\Delta t, \text{ч}$	Δn	$\Delta t, \text{ч}$	Δn	$\Delta t_{в}, \text{ч}$	$\Delta n_{в}$	$\Delta t_{с}, \text{лет}$	$\Delta n_{с}$
0-500	4	0-1000	15	0-0,5	10	0-2	8
500-1000	8	1000-2000	18	0,5-1,0	15	2-4	12
1000-1500	10	2000-3000	14	1-1,5	20	4-6	14
1500-2000	15	3000-4000	8	1,5-2	22	6-8	6
2000-2500	12	4000-5000	10	2-2,5	16	8-10	10
2500-3000	8	5000-6000	9	2,5-3	24	10-12	12
3000-3500	5	6000-7000	8	3,5-4	18	12-14	3

Для оценки показателей надежности принять: $\gamma = 90\%$; $t_{зд} = 2,0$ час.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте классификацию методов оценки показателей надежности изделий.
2. Что представляют собой непараметрические методы оценки показателей надежности изделий?
3. Какие показатели надежности подлежат оценки непараметрическими методами?

4. Какие исходные данные используются для оценки показателей надежности непараметрическими методами?

5. Как осуществляется оценка показателей безотказности изделий непараметрическими методами?

Практическое занятие № 6

Тема: Параметрические методы оценки показателей надежности

Цель: Изучение параметрических методов определения показателей надежности изделий ЛА

2.6.1. Необходимые теоретические сведения

В основу параметрических методов оценки показателей надежности положено предположение о виде закона распределения наработки до отказа.

Параметрический метод оценки показателей надежности базируется на использовании метода моментов для полных данных и метода максимального правдоподобия для усеченных (цензурированных) данных [1].

Метод моментов - метод определения параметров случайной величины по его моментам. Для этого используют начальные и центральные моменты.

Начальные моменты берутся относительно начала координат. Начальные моменты порядка S определяются зависимостью

$$\alpha_s = \sum_{j=1}^n X_j^s P_j, \quad (2.6.1)$$

где X_j^s - значения случайной величины,

P_j - вероятность ее появления.

В случае использования статистических гистограмм значение n означает число разбиения интервалов, X_j^s - координату середины j -го интервала, а P_j частость, соответствующая этому интервалу. Напомним, что частость определяется по статистическим данным:

$$P_j = \frac{\Delta n_j}{N}, \quad (2.6.2)$$

где n_j - число отказов, попавших в j - й интервал;

N - общее число отказов в случае полной выборки.

Математическое ожидание (среднее значение) величины X определяется как первый начальный момент, т.е. при $s = 1$

$$\alpha_{s=1} = \sum_{j=1}^n X_j P_j = \bar{X}. \quad (2.6.3)$$

Центральные моменты - моменты относительно математического ожидания. Центральный момент порядка s определяется зависимостью:

$$\mu_s = \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^s P_j. \quad (2.6.4)$$

При $s = 2$

$$\mu_{s=2} = \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2 P_j = D[X], \quad (2.6.5)$$

т.е. центральный момент второго порядка равен дисперсии случайной величины X .

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma_x = D[X]. \quad (2.6.6)$$

Таким образом, для любой статистической совокупности независимо от вида распределения метод моментов позволяет определить среднее значение и среднее квадратическое отклонение. Для распространенных в теории надежности законов распределения методом моментов могут быть определены параметры:

для экспоненциального распределения (табл. 2.6.2)

$$\lambda^* = \frac{1}{T_{\text{cp}}};$$

для нормального распределения

T_{cp} – математическое ожидание (табл. 2.3.3),

σ – среднее квадратическое значение (табл. 2.6.2).

Для распределения Вейбулла определение параметров: «а» - параметр масштаба и «b» - параметр формы может быть выполнено следующим образом: для математического ожидания \bar{X} и среднего квадратического отклонения σ_x определяется коэффициент вариации

$$\vartheta = \frac{\sigma_t}{m_t} \quad (2.6.7)$$

По значению коэффициента вариации по табл. П. 3.2. определяем параметр распределения Вейбулла «b» и коэффициенты K_b и C_b .

Для определения параметра распределения Вейбулла «а», используются соотношения:

$$a = \frac{m_t}{K_b}, \quad (2.6.8)$$

или

$$a = \frac{\sigma_t}{C_b}. \quad (2.6.9)$$

Значение функции распределения Вейбулла может быть рассчитано по формуле:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b} \quad (2.6.10)$$

Метод моментов требует проверки предполагаемого закона распределения с помощью критериев согласия. Критерии согласия характеризуют степень расхождения между предположением о законе распределения и фактическими экспериментальными данными.

Наиболее распространенным критерием согласия является критерий Пирсона χ^2 (хи-квадрат).

Критерии χ^2 рассчитывается по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(\Delta n_i - NP_i)^2}{NP_i}, \quad (2.6.11)$$

где K — число интервалов группирования;

Δn_i — число наблюдаемых статистических данных, попавших в i -й интервал;

P_i — теоретическая (соответствующая предполагаемому закону распределения) вероятность нахождения случайной величины в i -м интервале.

Если t_i — правая граница i -го интервала и t_{i-1} — его левая граница, то

$$P_i = F(t_i) - F(t_{i-1}). \quad (2.6.12)$$

$F(t_i)$ и $F(t_{i-1})$ — интегральные функции распределения наработки до отказа для конца и начала интервала наработки, соответственно, определяются по расчетным формулам предполагаемого закона распределения наработки до отказа.

Рассчитанное по формуле (2.6.11) значение $\chi^2_{\text{расч}}$ сравнивается с теоретическими значениями $\chi^2_{\text{теор}}$, которые определяются по табл. П.3.3. $\chi^2_{\text{теор}}$ зависит от числа степеней свободы r и уровня значимости α , где α — принятый уровень значимости в %, который представляет собой максимально допустимую вероятность ошибочного отвержения гипотезы (ошибка первого рода). Для большинства задач уровень значимости принимают от 1 до 10%. В дальнейших расчетах мы будем использовать значение $\alpha = 0,05$. Число степеней свободы r зависит от процедуры обработки статистических наблюдений:

$r = k-s-1$, где k — количество интервалов, используемых при обработке статистических наблюдений; s — количество параметров предполагаемого закона распределения наработки до отказа (экспоненциальное распределение имеет один параметр, распределение Вейбулла и нормальное распределение — по два параметра).

При $\chi^2_{\text{расч}} \geq \chi^2_{\text{теор}}$ гипотеза отвергается, если $\chi^2_{\text{расч}} \leq \chi^2_{\text{теор}}$, то гипотеза о соответствии экспериментальных данных предполагаемому закону распределения принимается.

2.6.2. Последовательность выполнения работы

1. Получение варианта статистических данных для расчета. Варианты данных эксплуатационных наблюдений приведены в табл. 2.6.1.

Таблица 2.6.1

Данные эксплуатационных наблюдений за изделиями АТ

	$\Delta t, \text{ч}$	0-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000	4000-5000	N
1 вар.	Δn	5	8	10	7	4	34
2 вар.	Δn	15	20	25	24	10	94
3 вар.	Δn	7	10	9	8	6	40
4 вар.	Δn	6	15	23	14	5	63
5 вар.	Δn	21	14	8	5	2	50

Таблица 2. 6.2

Функции и параметры распределения наработки до отказа изделий

Закон распределения	Функция распределения $F(t)$	Параметры распределения
Экспоненциальный	$1 - e^{-\lambda t}$	$\lambda = \frac{1}{T_{cp}}$
Нормальный	$\Phi\left(\frac{t - m_t}{\sigma_t}\right)$ по табл. П.3.1 приложения 3	$m_t = T_{cp}$ $\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^K (t_i - T_{cp}) \Delta n_i}$
Вейбулла	$1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$	$\vartheta = \frac{\sigma_t}{m_t}, \quad a = \frac{m_t}{K_b},$ $b = f(\vartheta),$ где b и K_b по табл. П.3.2 приложения 3

2. Определение статистических характеристик $f^*(t)$, $\lambda^*(t)$, $P^*(t)$ и $F^*(t)$, построение гистограмм $f^*(t)$ и $\lambda^*(t)$ (табл.2.3.2.).

3. Путем сравнения гистограмм $f^*(t)$ и $\lambda^*(t)$ с теоретическими кривыми $f(t)$ и $\lambda(t)$ (табл. 2.3.2) выдвигается гипотеза о виде законе распределения.

4. Методом моментов определяются статистические характеристики этого закона (табл.2.6.2.).

5. Расчет значения $\chi^2_{расч}$ и определение по табл. П.3.3 $\chi^2_{теор}$, обоснование вывода о соответствии статистических данных сделанному предположению о виде законе распределения.

6. Оценка средней наработки до отказа изделия T_{cp} и вероятность безотказной работы $P(t)$ за наработку $t=300$ ч. При оформлении расчетов использовать форму табл. 2.6.3.

Таблица 2.6.3

Оценка показателей надежности параметрическим методом

Исходные данные	Δt					
	Δn					
Статистические характеристики	$f^*(t)$					
	$\lambda^*(t)$					
	$P^*(t)$					
Гипотеза о законе распределения	Наименование закона: $f(t)$					

Статистические параметры закона	$\lambda^* =$	$\bar{T}^* =$	$\sigma =$
Уравнение моментов			
Критерий χ^2	P_j		
	Δn_j		
	$\Delta n_j - N p_j$		
	$\chi^2 = \frac{(\Delta n_j - N p_j)^2}{N p_j}$		
	$\chi^2_{\text{расч}} =$	$\chi^2_{\text{теор}} =$	
Вывод	Гипотеза..... законе распределения (не)принимается		
Показатели надежности	$T_{\text{ср}} =$	$P(t = 300 \div) =$	

2.6.3. Составление отчета по результатам выполнения практического занятия № 5, содержащего:

- наименование практического занятия;
- цель, задачи практического занятия;
- оценка показателей надежности изделий параметрическими методами;
- выводы по практическому занятию № 6.

Вопросы для самопроверки

1. Что представляют собой параметрические методы оценки показателей надежности изделий?
2. В чем заключается метод моментов для определения параметров случайной величины наработки до отказа изделий?
4. Как формируется гипотеза (предположение) о законе распределения случайной величины наработки до отказа изделий?
5. Как проверяется гипотеза о законе распределения случайной величины наработки до отказа изделий?

2.7. Практическое занятие № 7

Тема: Оценка показателей надежности по данным эксплуатационных наблюдений

Цель: Научиться строить временные диаграммы и оценивать показатели надежности по данным эксплуатационных наблюдений.

2.7.1. Необходимые теоретические сведения

Эксплуатационные наблюдения – процесс, обеспечивающий получение достоверной информации о надежности наблюдаемых объектов.

План наблюдений – число объектов наблюдения, порядок проведения наблюдений и критерии их прекращения.

Для проведения эксплуатационных наблюдений устанавливаются планы наблюдений: $[NUT]$, $[NUr]$, $[NRT]$, $[NRr]$, $[NMT]$, $[NMr]$, где: N – количество наблюдаемых объектов; U – отказавшие объекты при наблюдениях не заменяются; R – отказавшие объекты при наблюдениях заменяются; M – отказавшие объекты при наблюдениях восстанавливаются; T – наблюдения проводятся до наработки T ; r – наблюдения проводятся до отказа r объектов.

Наблюдение за эксплуатацией невосстанавливаемых изделий в течение периода времени T соответствует плану $[NUT]$, наблюдение за эксплуатацией восстанавливаемых изделий АТ в течение времени T соответствует плану $[NRT]$.

Статистические данные об отказах изделий могут быть представлены в виде цензурированных выборок.

Цензурированием называется событие, приводящее к прекращению наблюдений за изделием до наступления системного события (например, отказа) либо к свершению события в неизвестный момент времени в пределах некоторого интервала.

Цензурированной выборкой называется выборка, элементами которой являются полные наработки и наработки до цензурирования (неполные наработки) или только значения наработки до цензурирования. Полной наработкой является наработка изделия от начала некоторого этапа его эксплуатации до отказа (наработка до отказа). Неполная наработка характеризует наработку изделия от начала эксплуатации до прекращения наблюдений (до цензурирования).

Различают однократно и многократно цензурированные выборки. К *однократно цензурированным выборкам* относят выборки, содержащие полные и неполные наработки, причем все неполные наработки равны друг другу. Если у объектов наблюдения моменты или интервалы цензурирования различаются, то такие выборки являются *многократно цензурированными выборками*.

План эксплуатационных наблюдений $[NUT]$ указывает, что под наблюдением находится N объектов, отказавшие объекты не заменяются и не восстанавливаются U , наблюдения заканчиваются по истечении заданного интервала времени T (однократно цензурированная выборка).

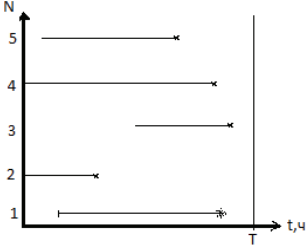
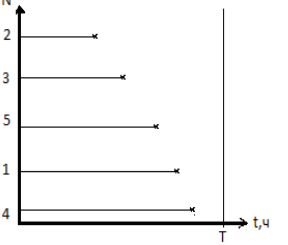
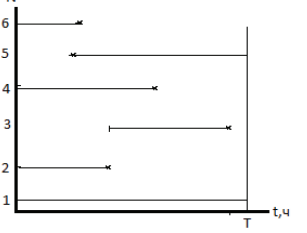
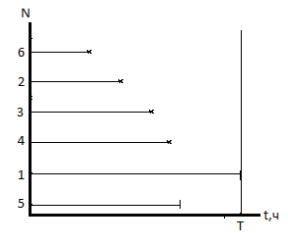
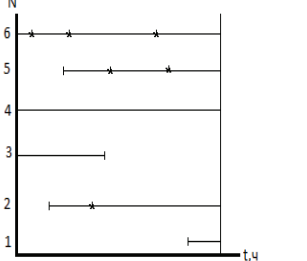
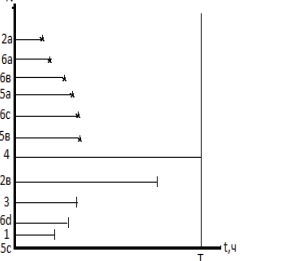
При цензурировании по плану эксплуатационных наблюдений $[NUr]$ заранее задается число отказов, после наступления которых наблюдения прекращаются, время наблюдения заранее не фиксируется, т.е. оно случайно (многократно цензурированная выборка).

При эксплуатации изделий АТ данные о наработке до отказа изделия накапливаются в карточках учета неисправностей (КУН). Для обработки статистических данных, накопленных при эксплуатации парка ЛА, строятся временные диаграммы наработки до отказа (табл. 2.7.1).

Ранжированные временные диаграммы наработок изделий до отказа показаны для однократно цензурированной выборки в табл. 2.7.1.

Таблица 2.7.1

Примеры построения временных диаграмм

План наблюдений, вид выборки	Построение диаграмм по данным КУН	Построение ранжированных временных диаграмм
1. План $[NUT]$, полная выборка: $N=5, n=5$		
2. План $[NUT]$, усеченная выборка: $N=6, n=4$		
3. План $[NRT]$, усеченная выборка $N=12, n=6$		

2.7.2. Последовательность выполнения работы

1. Получение варианта исходных данных для обработки. Исходные данные предоставляются преподавателем в виде некоторого количества КУН по одной из функциональных систем вертолета (табл. 2.7.2).

2. Построить ранжированную временную диаграмму, воспользовавшись данными о наработках до отказа, имеющихся в КУН.

3. Оценить безотказность изделия блока питания гидросистемы вертолета Ка-32 по формулам, приведенным в табл. 2.3.3.

2.7.3. Составление отчета по результатам выполнения практического занятия № 7, содержащего:

- наименование практического занятия;
- цель, задачи практического занятия;
- оценка показателей надежности изделий по данным эксплуатационных наблюдений;
- выводы по практическому занятию № 7.

Вопросы для самопроверки

1. Что представляют собой эксплуатационные наблюдения наработки до отказа изделий?

2. Что такое план наблюдений и какие используются планы эксплуатационных наблюдений?

3. Поясните понятия цензурирование и цензурированная выборка?

4. Что такое однократная и многократная цензурированные выборки наработок до отказа изделий?

5. Какие используются временные диаграммы наработок до отказа изделий?

Таблица 2.7.2

Исходные данные для вариантов заданий по оценке показателей безотказности изделий блока питания гидросистемы вертолета Ка-32

№ варианта	Тип ЛА	N_c	n_i	Наименование и № изделия	Наработка до отказа, ч	Наработка до цензурирования m_i изделий, ч
1	2	3	4	5	6	7
1	Ка-32	25	1	Гидробак, № 5	50; 120; 140; 185; 210; 245; 370; 420; 545; 670; 700; 850	$m = m_1 + m_2 + m_3 = 13$ $m_1 = 4$ по 200 $m_2 = 4$ по 500 $m_3 = 5$ по 1000
2	Ка-32	12	2	Гидронасос, № 1	370; 410; 425; 500; 560; 575; 582; 600; 610; 620; 655; 720;	$m = m_1 + m_2 + m_3 = 12$ $m_1 = 3$ по 450 $m_2 = 5$ по 600 $m_3 = 4$ по 800
3	Ка-32	15	6	Фильтр, № 4	1400; 1480; 1495; 1520; 1670; 1710; 1800; 1820; 1900, 1950; 2100, 2210; 2300; 2500, 2800	$m = m_1 + m_2 + m_3 = 75$ $m_1 = 20$ по 1600 $m_2 = 30$ по 1900 $m_3 = 25$ по 3000
4	Ка-32	15	2	Гидроаккумулятор, №3	50; 120; 140; 185; 210; 245; 370; 420; 545; 670; 700; 850	$m = m_1 + m_2 + m_3 = 18$ $m_1 = 6$ по 200 $m_2 = 7$ по 500 $m_3 = 5$ по 1000

Продолжение табл.2.7.2.

5	Ка-32	30	1	Насосная станция, №2	1400; 1480; 1495; 1520; 1670; 1710; 1800; 1820; 1900, 2100, 2300, 2450	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 18$ $m_1 = 5$ по 1600 $m_2 = 6$ по 1900 $m_3 = 7$ по 2500
---	-------	----	---	----------------------	--	---

2.8. Практическое занятие № 8

Тема: Анализ надежности функциональных систем методом структурных схем

Цель: Приобрести навыки оценки надежности сложных систем методом структурных схем.

2.8.1. Необходимые теоретические сведения

Метод структурных схем применяется для оценки надежности однофункциональных систем. Особенностью применения метода является то, что структурная схема может включать только один вид отказа элементов сложной системы. Порядок применения метода состоит в следующем:

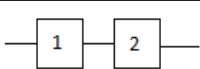
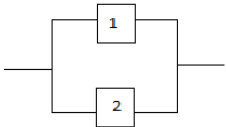
1. Анализируется принципиальная схема сложной системы, определяется функциональная связь между элементами и возможность работы системы при отказе элементов.

2. Строится структурная схема надежности системы, отражающая вероятность безотказной работы системы при рассмотрении безотказности ее элементов (табл.2.8.1);

3. В качестве объекта анализа принят блок питания гидросистемы (ГС) вертолета Ка-32 (табл. 2.8.2, рис. 2.8.1). Конструкция и особенности работы блока питания ГС вертолета КА-32 рассмотрены в работе [6].

Таблица 2.8.1

Расчет надежности функциональной системы методом структурной схемы

Вид соединения	Графическое изображение	Вероятность безотказной работы	Исходная информация
Последовательное		$P = P_1 P_2$	$P_1 = e^{-\lambda_1 t}, P_2 = e^{-\lambda_2 t}$ λ_1, λ_2 - интенсивности отказов элементов 1 и 2,
Параллельное		$P = 1 - [(1 - P_1)(1 - P_2)]$	при установившемся потоке отказов $\lambda = \omega$. t - время работы системы

Блок питания гидросистемы вертолета Ка-32 (рис. П.2.2)

Позиции на схеме	Наименование изделий	Количество на вертолете
1	приводной гидронасос	2
2	насосная станция	1
3	гидроаккумулятор	2
4	фильтр	6
5	гидробак	1
6	гидробак	1
7	ручной насос	1
8	дрессель	1
9	бортовой клапан заправки	1
10	бортовой клапан всасывания	3
11	бортовой клапан нагнетания	2

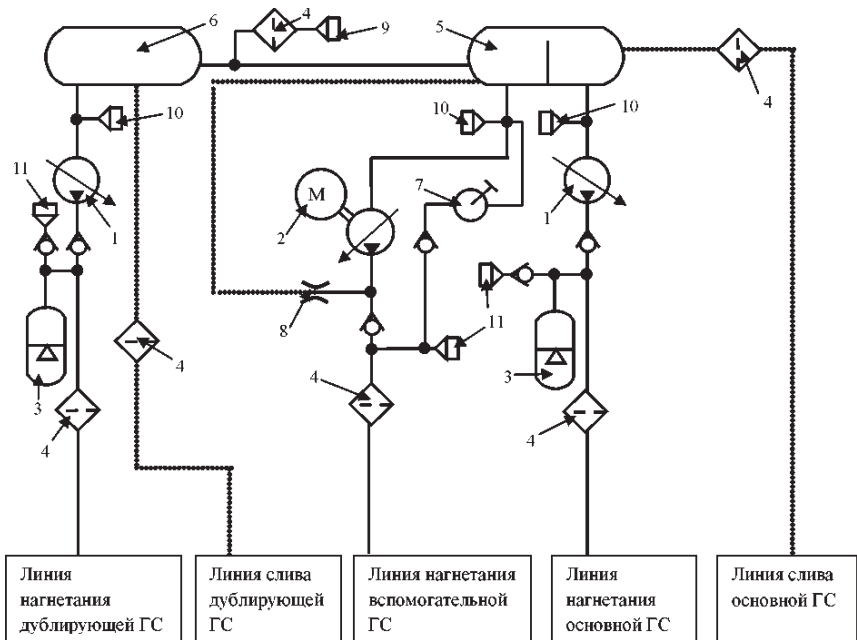


Рис. 2 8.1. Принципиальная схема блока питания гидросистемы вертолета Ка-32: 1- приводной гидронасос; 2- насосная станция; 3- гидроаккумулятор; 4- фильтр; 5,6- гидробак; 7- ручной насос; 8- дрессель; 9- бортовой клапан заправки; 10- бортовой клапан всасывания; 11- бортовой клапан нагнетания

4. Производится расчет надежности системы; исходной информацией являются вероятности безотказной работы элементов.

Для построения структурной схемы используются последовательные и параллельные цепочки. Последовательное соединение, когда отказ любого элемента приводит к отказу системы; параллельное соединение, когда отказ одного из элементов не приводит к отказу системы.

Графическое изображение последовательных и параллельных звеньев, расчетные формулы для оценки их надежности приведены в табл. 2.8.1.

2.8.2. Последовательность выполнения работы

1. Получение варианта принципиальной схемы сложной системы.
2. Анализ функциональных связей между элементами системы и возможности работы системы при отказе ее элементов.

3. Построение структурной схемы.

4. Расчет вероятности безотказной работы блока питания гидросистемы вертолета Ка-32 для $t=2$ ч и $t=300$ ч при условии равнонадежности ее элементов по данным о вероятности безотказной работы изделия в практическом занятии № 7.

2.8.3. Составление отчета по результатам выполнения практического занятия № 8, содержащего:

- наименование практического занятия;
- цель, задачи практического занятия;
- оценка показателей надежности функциональной системы методом структурных схем;
- выводы по практическому занятию № 8.

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляется анализ надежности функциональных систем методом структурных схем?

2. Назовите условия применения метода структурных для оценки надежности функциональных систем.

3. Какие исходные данные используются при анализе надежности функциональных систем методом структурных схем?

4. В какой последовательности выполняется анализ надежности функциональных систем методом структурных схем?

5. Как выполняется анализ принципиальной схемы функциональной системы при анализе методом структурных схем?

2.9. Практическое занятие № 9

Тема: Анализ надежности функциональной системы методом логических схем

Цель: Приобрести навыки оценки надежности функциональных систем методом логических схем

2.9.1. Необходимые теоретические сведения

Метод логических схем применяется для оценки надежности одно и многофункциональных систем, позволяет учитывать виды отказов элементов.

Порядок применения метода

1. Анализируется принципиальная схема функциональной системы, определяется функциональная связь между элементами.

2. Строится логическая схема надежности системы, отражающая все возможные варианты безотказной работы элементов для обеспечения безотказной работы системы;

3. Производится расчет надежности системы; исходной информацией являются вероятности безотказной работы элементов и логические связи между ними.

Для построения логической схемы используются логические элементы «и» и «или». Для описания безотказной работы системы при безотказной работе и одного, и другого элемента используется «и», при безотказной работе или одного, или другого элемента – «или».

Пример логической схемы и расчетные формулы для оценки надежности системы представлены в табл. 2.9.1.

Таблица 2.9.1

Расчет надежности функциональной системы методом логических схем

Логическая схема	Условные обозначения	Вероятность безотказной работы	Исходная информация
	<p>A - событие безотказной работы элемента. \bar{A} - событие отказа элемента и – логический символ умножения или – логический символ сложения</p>	$P = P_{A1}P_{A2}P_{A3} + P_{A1}(1 - P_{A2})P_{A3} + P_{A1}P_{A2}(1 - P_{A3})$	$P_{Ai} = e^{-\lambda_i t}$, $i=1,2,3$ λ_i – интенсивность отказа i -го элемента; t - время работы системы.

2.9.2. Последовательность выполнения работы

1. Анализ принципиальной схемы блока питания ГС вертолета КА-32 (табл.2.8.2, рис. 2.8.1). Конструкция и особенности работы блока питания ГС вертолета КА-32 рассмотрены в работе [6].

2. Анализ функциональных связей между элементами системы.

3. Построение логической схемы надежности блока питания ГС вертолета КА-32 .

4. Расчет вероятности безотказной работы блока питания ГС вертолета КА-32 для для $t=2$ ч и $t=300$ ч методом логических схем при условии

равнонадежности ее элементов по данным о вероятности безотказной работы изделия по варианту задания в практическом занятии № 7.

5. Сравнение результатов расчетов методом логических схем и методом структурных схем (практическое занятие № 8).

2.6.3. Составление отчета по результатам выполнения практического занятия № 9, содержащего:

- наименование практического занятия;
- цель, задачи практического занятия;
- оценка показателей надежности функциональной системы методом логических схем;
- выводы по практическому занятию № 9.

Вопросы для самопроверки

1. Как осуществляется анализ надежности функциональных систем методом логических схем?

2. Назовите условия применения метода логических для оценки надежности функциональных систем.

3. Какие исходные данные используются при анализе надежности функциональных систем методом логических схем?

4. В какой последовательности выполняется анализ надежности функциональных систем методом логических схем?

5. Как выполняется анализ принципиальной схемы функциональной системы при анализе методом логических схем?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Материалы к отчету по практическому занятию № 1 «Анализ основных стандартизованных понятий, терминов и определений надежности технических объектов»

Таблица П.1.1

Классификация основных терминов надежности (табл. 2.1.1)

Объекты	Состояния	События	Свойства	Временные понятия	Показатели
1	2	3	4	5	6

Таблица П.1.2

Основные понятия, термины и определения надежности (табл. 2.1.2)

№ п/п	Виды понятий надежности	Термины	Определения понятий
1	2	3	4
1	Технические объекты	(Технический) объект	Предмет рассмотрения, на который распространяется терминология по надежности в технике
		Элемент	Объект, для которого в рамках данного рассмотрения не выделяются составные части
	
2	Состояния	Исправное состояние (исправность)	Состояние объекта, в котором он соответствует всем требованиям, установленным в документации на него
		Неисправное состояние (неисправность)	Состояние объекта, в котором он не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации на него
	
3	События	Дефект	Каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным документацией
		Повреждение	Событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния
	
4	Свойства	Безотказность	Свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения
		Ремонтпригодность	Свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта
	

Продолжение табл. П.1.2.

5	Временные понятия	Наработка	Продолжительность или объем работы объекта
		Наработка до отказа	Наработка объекта от начала его эксплуатации или от момента его восстановления до отказа
	
6	Показатели	Показатель надежности	Количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта
		Единичный показатель надежности	Показатель надежности, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта
	

Приложение 2

Материалы к отчету по практическому занятию № 2 «Анализ стандартизованных понятий, терминов и определений по обеспечению надежности технических объектов»

Таблица П.2.1

Классификация основных терминов надежности (табл. 2.2.1)

По ГОСТ 27.002-2015				Управление надежностью (по ГОСТ Р 27.001-2009)
Резервирование	Техническое обслуживание, восстановление и ремонт	Разработка, обеспечение, анализ	Испытания на надежность	

Таблица П.2.2

Основные понятия, термины и определения обеспечения надежности (табл. 2.2.2)

№ п/п	Виды понятий надежности	Термины	Определения понятий
1	Резервирование	Основной элемент	Элемент объекта, необходимый для выполнения требуемых функций без использования резерва
		Резервный элемент	Элемент объекта, предназначенный для выполнения функций основного элемента в случае отказа последнего
	
2	Техническое обслуживание, восстановление и ремонт	Система технического обслуживания и ремонта	Совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления работоспособного состояния объекта
		Техническое обслуживание	Комплекс организационных мероприятий и технических операций, направленных на поддержание способности (исправности) объекта и снижение вероятности его отказов при использовании по назначению, хранении и транспортировании
	

Продолжение табл. П.2.2.

3	Разработка, Обеспечение, анализ	Нормируемый показатель надежности	Показатель надежности. значение которого регламентировано нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документацией на объект
		Нормирование надежности	Установление в нормативно-технической документации и (или) конструкторской (проектной) документации количественных и качественных требований к надежности
	
4	Испытания на надежность	Испытания на надежность	Испытания, проводимые с целью определения и/или контроля показателей надежности в заданных условиях
		Определительные испытания на надежность	Испытания, проводимые для оценки показателей надежности
	
5	Управление надежностью	Предприятие	Организация любой ведомственной принадлежности и формы собственности, осуществляющая деятельность на стадиях жизненного цикла изделия: заказывающая, проектирующая, разрабатывающая, изготавливающая, испытывающая, поставляющая, транспортирующая, монтирующая, обслуживающая, ремонтирующая или утилизирующая изделие, совокупность всех средств предприятия по управлению надежностью.
		Система управления надежностью	Совокупность всех средств предприятия по управлению надежностью.
	

Приложение 3.

Таблицы характеристик распределения случайных величин

Таблица П.3. 1.

Значения $F_0(x)$

x		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	5000	5040	5080	5120	5160	5199	5239	5279	5319	5359
0,1	0	5398	5438	5478	5517	5557	5596	5636	5675	5714	5753
0,2	0	5793	5832	5871	5910	5948	5987	6026	6064	6103	6141
0,3	0	6179	6217	6255	6293	6331	6368	6406	6443	6480	6517
0,4	0	6554	6591	6628	6664	6700	6736	6772	6808	6844	6879
0,5	0	6915	6950	6985	7019	7054	7088	7123	7157	7190	7224
0,6	0	7257	7291	7324	7357	7389	7422	7454	7486	7517	7549
0,7	0	7580	7611	7642	7673	7704	7734	7764	7794	7823	7852
0,8	0	7881	7910	7939	7967	7995	8023	8051	8078	8106	8133
0,9	0	8159	8186	8212	8238	8264	8289	8315	8340	8365	8389

Продолжение табл. П.3.1

x		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	8413	8438	8461	8485	8508	8531	8554	8577	8599	8621
1,1	0	8643	8665	8686	8708	8729	8749	8770	8790	8810	8830
1,2	0	8849	8869	8888	8907	8925	8944	8962	8980	8997	9015
1,3	0,9	320	490	658	824	988	1149	1308	1466	1621	1774
1,4	0,9	1924	2073	2220	2364	2507	2647	2785	2922	3056	3189
1,5	0,9	3319	3448	3574	3699	3822	3943	4062	4179	4295	4408
1,6	0,9	4520	4630	4738	4845	4950	5053	5154	5254	5352	5449
1,7	0,9	5543	5637	5728	5818	5907	5994	6080	6164	6246	6327
1,8	0,9	6407	6485	6562	6637	6712	6784	6856	6926	6995	7062
1,9	0,9	7128	7193	7257	7320	7381	7441	7500	7558	7615	7670
2	0,9	7725	7778	7831	7882	7932	7982	8030	8077	8124	8169
2,1	0,9	8214	8257	8300	8341	8382	8422	8461	8500	8537	8574
2,2	0,9	8610	8645	8679	8713	8745	8778	8809	8840	8870	8899
2,3	0,9	8928	8956	8983	9010	9036	9061	9086	9111	9134	9158
2,4	0,99	1802	2024	2240	2451	2656	2857	3053	3244	3431	3613
2,5	0,99	3790	3963	4132	4297	4457	4614	4766	4915	5060	5201
2,6	0,99	5339	5473	5603	5731	5855	5975	6093	6207	6319	6427
2,7	0,99	6533	6636	6736	6833	6928	7020	7110	7197	7282	7365
2,8	0,99	7445	7523	7599	7673	7744	7814	7882	7948	8012	8074
2,9	0,99	8134	8193	8250	8305	8359	8411	8462	8511	8559	8605
3	0,99	8650	8694	8736	8777	8817	8856	8893	8930	8965	8999
3,1	0,93	324	646	957	1260	1553	1836	2112	2378	2636	2886
3,2	0,93	3129	3363	3590	3810	4024	4230	4429	4623	4810	4991
3,3	0,93	5166	5335	5499	5658	5811	5959	6103	6242	6376	6505
3,4	0,93	6631	6752	6869	6982	7091	7197	7299	7398	7493	7585
3,5	0,93	7674	7760	7842	7922	7999	8074	8146	8215	8282	8347
3,6	0,93	8409	8469	8527	8583	8637	8689	8739	8787	8834	8879
3,7	0,93	8922	8964	9004	9043	9080	9116	9150	9184	9216	9247
3,8	0,94	2765	3052	3327	3593	3848	4094	4331	4558	4777	4988
3,9	0,94	5190	5385	5573	5753	5926	6092	6252	6406	6554	6696
4	0,94	6833	6964	7090	7211	7327	7439	7546	7649	7748	7843
4,1	0,94	7934	8022	8106	8186	8264	8338	8409	8477	8542	8605
4,2	0,94	8665	8723	8778	8832	8882	8931	8978	9023	9066	9107
4,3	0,95	1460	1837	2198	2544	2876	3193	3497	3788	4066	4332

Продолжение табл. П.3.1

x		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4,4	0,95	4588	4832	5065	5288	5508	5706	5902	6089	6268	6439
4,5	0,95	6602	6759	6908	7051	7187	7318	7442	7561	7675	7784
4,6	0,95	7888	7987	8081	8172	8258	8340	8419	8494	8566	8634
4,7	0,95	8699	8761	8821	8877	8931	8983	9032	9079	9124	9166
4,8	0,96	2067	2454	2822	3173	3508	3827	4131	4420	4696	4958
4,9	0,96	5208	5446	5673	5888	6094	6289	6475	6652	6821	6981
5	0,96	7134	7278	7416	7848	7672	7791	7904	8011	8113	8210
5,1	0,96	8302	8389	8472	8551	8626	8698	8765	8830	8891	8949
5,2	0,97	4	56	105	152	197	240	280	318	354	388
5,3	0,97	421	452	481	509	539	560	584	606	628	648
5,4	0,97	667	685	702	718	734	748	762	775	787	799
5,5	0,97	810	821	831	840	849	857	865	873	880	886
5,6	0,97	893	899	905	910	915	920	924	929	933	936
5,7	0,98	40	44	47	50	53	55	58	60	63	65
5,8	0,98	67	69	71	72	74	75	77	78	79	81
5,9	0,98	82	83	84	85	86	87	87	88	89	90
6	0,98	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица П.3.2

Коэффициенты для распределения Вейбулла

b	К _b	С _b	Y
0,2	120	1900	15,83
0,3	8,86	46,9	5,29
0,4	3,32	10,4	3,14
0,5	2,00	4,47	2,24
0,6	1,50	2,61	1,74
0,7	1,27	1,86	1,46
0,8	1,13	1,43	1,26
0,9	1,05	1,17	1,11
1,0	1,00	1,00	1,00
1,1	0,965	0,878	0,910
1,2	0,941	0,787	0,837
1,3	0,924	0,716	0,775
1,4	0,911	0,659	0,723
1,5	0,903	0,612	0,678
1,6	0,897	0,574	0,640
1,7	0,892	0,540	0,605
1,8	0,889	0,512	0,575
1,9	0,887	0,485	0,547
2,0	0,886	0,463	0,498
2,1	0,886	0,441	0,498

Продолжение табл. П3.2

b	K _b	C _b	Y
2,2	0,886	0,425	0,480
2,2	0,886	0,425	0,480
2,3	0,886	0,409	0,461
2,4	0,887	0,394	0,444
2,5	0,887	0,380	0,428
3,0	0,893	0,326	0,365
3,5	0,900	0,285	0,316
4,0	0,906	0,255	0,281

$T_{cp}=a K_b, \sigma(t)=a C_b$

Таблица П. 3.3

Значения χ^2 ,соответствующие уровню значимости α и числу степеней свободы g

g	Уровень значимости α										
	0,99	0,95	0,90	0,50	0,25	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001
1	0,02	0,04	0,02	0,46	1,32	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,8
2	0,02	0,10	0,21	1,39	2,77	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8
3	0,12	0,35	0,58	2,37	4,11	6,25	7,81	9,35	11,3	12,8	16,3
4	0,30	0,71	1,06	3,36	5,39	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9	18,5
5	0,55	1,15	1,61	4,35	6,63	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7	20,5
6	0,87	1,64	2,20	5,35	7,84	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5
7	1,24	2,17	2,83	6,35	9,04	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3
8	1,65	2,73	3,49	7,34	10,2	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1
9	2,09	3,33	4,17	8,34	11,4	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9
10	2,56	3,94	4,87	9,34	12,5	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6
11	3,05	4,57	5,58	10,3	13,7	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,3
12	3,57	5,23	6,30	11,3	14,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9
13	4,11	5,89	7,04	12,3	16,0	19,8	22,4	24,7	27,2	29,8	34,5
14	4,66	6,57	7,79	13,3	17,1	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1
15	5,23	7,26	8,55	14,3	18,2	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7
16	5,81	7,96	9,31	15,3	19,4	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3
17	6,41	8,67	10,1	16,3	20,5	24,8	27,6	30,2	33,4	35,7	40,8
18	7,01	9,39	10,9	17,3	21,6	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3
19	7,63	10,1	11,7	18,3	22,7	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6	43,8
20	8,26	10,9	12,4	19,3	23,8	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3
21	8,90	11,6	13,2	20,3	24,9	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4	46,8
22	9,54	12,3	14,0	21,3	26,0	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3
23	10,2	13,1	14,8	22,3	27,1	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2	49,7
24	10,9	13,8	15,7	23,3	28,2	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6	51,2
25	11,5	14,6	16,5	24,3	29,3	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9	52,6
26	12,2	15,4	17,3	25,3	30,4	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3	54,1
27	12,9	16,2	18,1	26,3	31,5	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6	55,5
28	13,6	16,9	18,9	27,3	32,6	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9
29	14,3	17,7	19,8	28,3	33,7	39,1	42,6	45,7	49,6	52,3	58,3
30	15,0	18,5	20,6	29,3	34,8	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Основы теории надежности. Ч.1. Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2013.
2. Ицкович А.А. Файнбург И.А. Основы теории надежности. Ч.2. Методы обеспечения надежности при проектировании, производстве и эксплуатации. Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2016.
3. Ицкович А.А., Файнбург И.А., Файнбург Г.Д. Основы теории надежности. Учебно-методическое пособие по выполнению курсовой работы «Оценка показателей надежности авиационной техники». – М.: МГТУ ГА, 2017.
4. Ицкович А.А., Файнбург И.А., Файнбург Г.Д. Классификация стандартизованных терминов надежности технических объектов // Сборник статей Международной научно-практической конференции “Технические науки на службе созидания и прогресса”. Уфа: Аэтерна, 2017, С. 109.
5. Ицкович А.А., Файнбург И.А., Файнбург Г.Д. Методологические аспекты управления процессами обеспечения надежности авиационной техники // Ж. Проблемы машиностроения и надежности машин. 2019, № 5. С. 77
6. Петров Ю.В. Системы вертолета и двигателя. Гидравлические системы вертолета: тексты лекций. - М.: МГТУ ГА, 2015.
7. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. Официальное издание.- М.: Стандартинформ, 2016.
8. ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Система управления надежностью. Официальное издание.- М.: Стандартинформ, 2010.
9. ГОСТ 27.003-2016. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. - М.: Стандартинформ, 2018.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Общие положения.....	3
2.	Методические указания по выполнению практических занятий.....	4
2.1.	Практическое занятие № 1 Анализ основных стандартизованных понятий, терминов и определений надежности технических объектов.....	4
2.2.	Практическое занятие № 2 Анализ основных стандартизованных понятий, терминов и определений обеспечения надежности технических объектов.....	15
2.3.	Практическое занятие № 3 Модели надёжности невосстанавливаемых изделий	24
2.4.	Практическое занятие № 4 Модели надежности восстанавливаемых изделий	30
2.5.	Практическое занятие № 5 Непараметрические методы оценки показателей надежности.....	34
2.6.	Практическое занятие № 6 Параметрические методы оценки показателей надежности.....	39
2.7.	Практическое занятие №7 Оценка показателей надежности по данным эксплуатационных наблюдений.....	43
2.8.	Практическое занятие №8 Анализ надежности функциональных систем методом структурных схем.....	47
2.9.	Практическое занятие № 9 Анализ надежности функциональной системы методом логических схем.....	49
	Приложения.....	52
	Список литературы.....	58

А.А. Ицкович, И.А. Файнбург, Г.Д. Файнбург

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 29.06.2020 г.
Формат 60x84/16 Печ. л. 3,75 Усл. печ. л. 3,49
Заказ № 621/0413-УМП26 Тираж 60 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (495) 973-45-68
E-mail: zakaz@itsbook.ru