

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

**Кафедра технической эксплуатации летательных аппаратов
и авиадвигателей**

А.А. Ицкович, И.А. Файнбург

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

ПОСОБИЕ

**по изучению дисциплины и
выполнению курсовой работы**

*для студентов
направления 162300 (25.03.01)
заочной формы обучения*

Москва - 2015

ББК 056-021

И96

Рецензент канд. техн. наук, доц. В.А. Найда

Ицкович А.А., Файнбург И.А.

И96 Основы теории надежности: пособие по изучению дисциплины и выполнению курсовой работы «Оценка показателей надежности авиационной техники». - М.: МГТУ ГА, 2015. - 68 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы теории надежности» по Учебному плану направления 162300 (25.03.01) заочной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 27.01.15 г. и методического совета 17.02.15 г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цели освоения дисциплины

Освоение дисциплины «Основы теории надежности» необходимо для подготовки бакалавра по направлению 162300 (25.03.01) «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и двигателей».

Целью освоения дисциплины «Основы теории надежности» является формирование профессиональной культуры управления надежностью авиационной техники, под которой понимается готовность и способность личности использовать в профессиональной деятельности приобретенную совокупность знаний, умений и навыков для обеспечения надежности авиационной техники и безопасности полетов летательных аппаратов в сфере профессиональной деятельности, характера мышления и ценностных ориентаций, при которых вопросы надежности авиационной техники и безопасности полетов летательных аппаратов рассматриваются в качестве приоритета.

1.2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина относится к базовой части профессионального цикла.

Требования к входным знаниям, умениям и компетенциям студента, необходимым для изучения дисциплины, определяются в объеме ООП бакалавриата по данному направлению, в частности, студент должен владеть знаниями, умениями и навыками, сформированными дисциплинами: Высшая математика, Информатика и информационные технологии, Моделирование систем и процессов, Метрология, стандартизация и сертификация, Материаловедение и технология материалов, Сопротивление материалов, Детали машин, Динамика и прочность авиационных конструкций; в частности, студент должен:

Знать:

основные понятия и методы теории вероятностей и математической статистики, способы построения математических моделей простейших систем и процессов в технике;

физическую сущность явлений, процессов и эффектов, лежащих в основе устройства и функционирования объектов авиационной техники;

авиационные конструкционные материалы и физическую сущность процессов изменения их свойств;

основы конструкции и прочности летательного аппарата и силовых установок, основы конструкции и принципы работы шасси; устройства систем управления, топливной гидравлической и высотной систем,

уметь:

проводить конкретные расчеты, используя методы математического анализа и других разделов высшей математики;

прогнозировать возможность возникновения повреждений, обусловленных коррозией и другими химическими процессами;

практически работать на персональном компьютере, используя системные и прикладные программные средства;

оценивать свойства авиационных материалов

оценивать принципы построения и качество работы механических устройств и систем;

владеть:

основными приемами обработки экспериментальных данных;

математической символикой для выражения количественных и качественных соотношений объектов;

методами исследования свойств конструкционных материалов в процессе эксплуатации летательного аппарата;

Дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей:

– Техническая диагностика,

– Основы теории технической эксплуатации ЛА,

– Безопасность полетов,

– Конструкция и прочность самолета (вертолета),

– Системы самолета (вертолета) и двигателя,

– Конструкция и прочность двигателей,

– Техническая эксплуатация ЛА и Д,

– Технологические процессы технического обслуживания,

– Производство и ремонт ЛА и Д;

– ВКР.

1.3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

осознания социальной значимости своей будущей профессии, обладания высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности (ОК-7);

владения культурой мышления, способностью к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения (ОК-8);

способности применять знания на практике, в том числе владеть научным инструментарием, применяемым в области авиации (ПК-2);

способности использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ПК-6);

способности к составлению и ведению технической документации и установленной отчетности по утвержденным формам, в том числе учет ресурсного и технического состояния летательных аппаратов (ПК-8);

способности к выполнению работ по поддержанию летной годности летательных аппаратов (ПК-13);

способности решать вопросы обеспечения качества технического обслуживания и ремонта летательных аппаратов, а также процессов сертификации авиационной техники и аттестации авиаперсонала (ПК-15);

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать:

- количественные характеристики надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых изделий;

- законы распределения, методы статистической оценки надежности изделий в эксплуатации;

- методику построения моделей и расчета надежности, способы повышения надежности изделий;

- свойства летательного аппарата как объекта технической эксплуатации;

уметь:

- выполнять расчет характеристик надежности, определять точность и достоверность статистических оценок надежности,

- оценивать основные эксплуатационно-технические свойства летательного аппарата;

- обосновывать требования и мероприятия по совершенствованию программ технической эксплуатации и повышению эффективности использования летательного аппарата

владеть:

- методами оценки влияния на безопасность полетов последствий отказов авиационной техники, ошибок авиационного персонала, воздействий неблагоприятных условий;

- способами сбора и обработки информации по надежности изделий авиационной техники;

- методиками расчета и статистической оценки характеристик надежности.

1.4. Общие требования к курсовой работе

Целью выполнения курсовой работы (КР) является овладение научными методами оценки и анализа надежности авиационной техники (АТ), систематизация и обобщение теоретических знаний, приобретенных при изучении материала по дисциплине «Основы теории надежности», получение навыков и умений применять теоретические знания к решению практических задач анализа надежности АТ. При выполнении КР автор несет ответственность за правильность расчетов и принятые решения.

Преподаватель на лекции дает рекомендации по выполнению КР студентом, уточняет объем и глубину проработки отдельных заданий, проводит консультации.

При оформлении КР необходимо соблюдать определенные требования. Изложение материалов КР должно быть конкретным и четким. Заимствованные цитаты, таблицы и другие материалы должны иметь ссылку на источник. В

тексте необходимо соблюдать единую техническую терминологию, принятую в учебных пособиях и стандартах.

Оформление материала, изложенного в КР, производится в соответствии с ГОСТ 2.105-95. ЕСКД. Общие требования к текстовым документам, ГОСТ 2.106-96. ЕСКД. Текстовые документы.

Титульный лист КР должен быть выполнен по форме Приложения 6. За ним следует «Содержание», на котором выполняется основная надпись.

Текст пояснительной записки должен быть написан разборчиво на одной стороне листа формата А4 (297x210 мм). Числовые значения в формулах объясняются. Окончательный результат приводится с указанием размерности. Таблицы, помещенные в тексте должны иметь номера и названия. При приведении результатов расчетов в табличной (графической) форме даются примеры расчетов с подстановкой исходных данных в расчетные формулы. Графики, схемы, рисунки следует выполнять на листах миллиметровой бумаги формата А4. Рисунки должны иметь номера и подрисуночные подписи. На графиках указывать масштаб и размерность изображаемых величин. На все таблицы и рисунки в тексте должны быть ссылки.

В тексте необходимо выделить заголовки отдельных частей КР, их разделов и подразделов в соответствии с «Содержанием». Выводы должны приводиться по разделам (задачам) и по КР в целом. В конце пояснительной записки приводится литература, используемая при выполнении КР.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Общие методические указания

При самостоятельном изучении материала данной дисциплины студент должен работать с литературными источниками, указанными в конце настоящего издания. Для усвоения материала студент должен пользоваться основной и дополнительной литературой. При использовании литературы надо учитывать, что ряд аналогичных вопросов излагается в нескольких источниках, поэтому изучение их может ограничиваться одним из них. Другие источники приведены для получения дополнительных материалов.

Каждый студент должен вести конспект изучаемой литературы. Кроме самостоятельного изучения материала для студентов читаются в университете установочная лекция (2 ч) и обзорные лекции (4 ч) по вопросам курса, проводятся лабораторные занятия (8 ч).

Материал должен изучаться последовательно, согласно данным методическим указаниям. Изучение теоретического материала следует сопровождать решением задач [3-5].

Студент должен выполнить контрольную работу и пройти по ней собеседование.

Качество изучения материала проверяется умением правильно и полно отвечать на вопросы самопроверки, представленные в конце каждой части и решать задачи, приведенные в пособиях [3-5].

При изучении определенных тем рекомендуется знакомиться с материалами по эксплуатации конкретных типов летательных аппаратов и подбирать соответствующие примеры из личной практической деятельности.

Студент может получить от преподавателя письменную или устную консультацию по интересующим его вопросам данного курса.

2.2. Программа и методические указания по изучению разделов дисциплины

Раздел 1. Предмет и задачи надежности АТ. Физические основы надежности АТ.

Тема 1.1. Содержание и значение проблемы обеспечения надежности АТ. Основные понятия, термины и определения надежности

Технико-экономическое и социальное значение проблемы повышения качества и надежности объектов на современном этапе развития науки и техники. Социально-нравственные задачи инженерно-технического персонала по обеспечению надежности АТ. Роль стандартизации в повышении надежности и качества объектов. Содержание и научная основа курса. Связь с другими учебными дисциплинами. Задачи обеспечения надежности авиационной техники в условиях эксплуатации летательных аппаратов. Связь надежности изделий с безопасностью полетов и эффективностью эксплуатации летательных аппаратов. Основные понятия, термины и определения надежности. Классификация терминов надежности.

Методические указания

При изучении этой темы следует рассматривать надежность авиационной техники как важнейший элемент ее качества. Основной задачей теории надежности авиационной техники является разработка методов повышения и сохранения ее надежности при проектировании, производстве и эксплуатации. Основными аспектами предмета теории надежности являются: технический, социально-экономический, организационный и правовой. Использовать основные ГОСТы системы стандартов «Надежность в технике». Обратит внимание на связь учебной дисциплины с теорией вероятности и математической статистики, вероятностно-статистическими моделями, конструкцией и прочностью летательных аппаратов и авиадвигателей.

Основными предметами (задачами) теории надежности авиационной техники являются: система обеспечения надежности авиационной техники и методология ее построения; физические объекты и математические модели надежности авиационной техники; методы оценки показателей и обеспечения надежности, испытаний и контроля надежности авиационной техники, сбора и обработки информации о надежности авиационной техники; технические и программные средства обеспечения надежности авиационной техники.

При изучении терминологии по надежности следует придерживаться рекомендаций системы стандартов «Надежность в технике» и использовать классификацию терминов по признакам: объекты, состояния, события,

свойства, показатели надежности и методы повышения надежности. Восстанавливаемые, невосстанавливаемые, ремонтируемые и неремонтируемые объекты. Исправные, неисправные, работоспособные, неработоспособные и предельные состояния объектов, отказы и повреждения. Свойства надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Единичные и комплексные показатели надежности. Виды резервирования объектов.

Литература: [1] стр. 3-16, [7], [8].

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризовать технико-экономическое и социальное значение проблемы обеспечения надежности и качества объектов авиационной техники.

2. Дать характеристику задач обеспечения надежности авиационной техники в условиях эксплуатации.

3. Показать связь надежности авиационной техники с безопасностью полетов летательных аппаратов.

4. Охарактеризовать влияние надежности авиационной техники на эффективность эксплуатации летательных аппаратов.

5. Показать связь надежности авиационной техники с другими учебными дисциплинами.

6. Охарактеризовать роль стандартизации в области надежности техники.

7. Охарактеризовать основные предметы исследования теории надежности.

8. Дать классификацию терминов теории надежности.

9. Дать определения надежности и работоспособности объектов.

10. Охарактеризовать понятия: невосстанавливаемые и восстанавливаемые объекты.

11. Дать определения понятий о свойствах надежности.

12. Объяснить физический смысл терминов: отказ, повреждение, неисправность, дефект.

Тема 1.2. Причины повреждений и отказов объектов АТ. Физико-химические процессы, приводящие к отказам АТ

Характеристика отказа (повреждения) : критерий, факт, признак проявления, вид (характер), техническая сущность, причина, последствия. Классификация отказов по признакам: значимости, зависимости, характеру и причине возникновения, обнаруживаемости и последствиям. Механизмы возникновения внезапных и постепенных отказов. Классификация причин возникновения конструктивных, производственных и эксплуатационных отказов. Методы анализа причин повреждений и отказов АТ

Классификация физико-химических процессов. Физико-химические процессы разрушения материалов. Характеристика внешних и внутренних факторов, влияющих на возникновение отказов. Характеристика процессов,

приводящих к возникновению внезапных и постепенных отказов. Типовые повреждения и отказы АТ.

Методические указания

Для понимания физической сущности отказа необходимо рассмотреть прежде всего критерий отказа, представляющий собой признак или совокупность признаков неработоспособного состояния, установленного нормативно-технической или конструкторской документацией. Признаками возникновения отказа являются недопустимые изменения параметров, определяющих работоспособность объекта. При установлении причин отказов необходимо определить явления, процессы, события и состояния, приведшие к их появлению.

Следует рассмотреть основные причины возникновения конструктивных, производственных и эксплуатационных отказов.

При изучении классификации отказов основное внимание следует уделить внезапным и постепенным отказам. Рассмотреть механизмы их возникновения и причины появления. Понять, что наработка до отказа является случайной величиной. Рассмотреть процесс разрушения материала как постепенный кинетический процесс, развивающийся в напряженном материале. Скорость процесса механического разрушения деталей зависит от структуры и свойств материала, геометрической формы и состояния поверхности, напряжения вызываемого нагрузкой и температурой. У металлов развиваются разрушения, характеризуемые разрывом межатомных связей и направленной диффузией вакансий к трещинам. Разрушение нагруженных полимерных материалов вызывается процессом разрыва внутримолекулярных химических связей в результате тепловых воздействий, активизированных механическим напряжением.

При изучении физической сущности процессов разрушения рассматриваются процессы старения, изнашивания, коррозии, отказы по параметрам прочности. Чаще всего отказы по параметрам прочности с изломами элементов конструкции (хрупкие и вязкие) или их деформацией. В зависимости от приложенных нагрузок изломы подразделяются на динамические, усталостные, от превышения предела прочности, при изгибающих и скручивающих нагрузках. Особое внимание следует уделить накоплению усталостных повреждений.

Типовые неисправности летательных аппаратов и двигателей с учетом критерия, характера, признаков проявления, причин и последствий.

Литература: [1] стр.13-36, [3] стр. 12-38.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризовать понятия: критерий, признак, факт, характер, физическая сущность, причина и последствия отказа.
2. Дать классификацию отказов и повреждений.
3. Охарактеризовать модели возникновения внезапных и постепенных отказов и объяснить причины их появления.

4. Охарактеризовать явления, процессы, события и состояния, приведшие к появлению отказов.
5. Дать классификацию физико-химических процессов, приводящих к отказам и повреждениям.
6. Охарактеризовать нагрузки, вызванные внешними и внутренними факторами.
7. Рассмотреть причины внезапных отказов.
8. Рассмотреть причины постепенных отказов.
9. Раскрыть характер повреждения конструкции при старении материалов.
10. Охарактеризовать повреждения конструкции при изнашивании материалов.
11. Дать характеристику коррозионной повреждаемости конструкций.
12. Охарактеризовать процесс накопления усталостных повреждений.
13. Привести примеры типовых отказов и повреждений летательных аппаратов и авиадвигателей.

Раздел 2. Модели надежности изделий

Тема 2.1. Модели надежности невосстанавливаемых изделий

Безотказность невосстанавливаемых изделий. Физическая сущность безотказности невосстанавливаемых изделий. Модели безотказности невосстанавливаемых изделий. Функции распределения наработки до отказа. Основные законы распределения наработки до отказа изделий. Модели безотказности невосстанавливаемых изделий при внезапных и постепенных отказах.

Методические указания

Для лучшего понимания изучение темы следует начать с рассмотрения моделей непрерывного и прерывистого режимов эксплуатации с наступлением отказов неремонтируемого и ремонтируемого объектов. При этом следует вникнуть в физическую сущность безотказности и в различие моделей.

Для невосстанавливаемых объектов основной характеристикой является наработка до отказа, являющаяся непрерывной случайной величиной. Вследствие того, что на практике часто приходится определять показатели безотказности по значению одного из них, то важно знать аналитические зависимости между различными показателями.

Литература: [1] стр.36-48, [3] стр. 12-38, [6] стр. 13-15

Вопросы для самопроверки

1. Физическая сущность безотказности невосстанавливаемых объектов.
2. Использование распределений непрерывных случайных величин в качестве модели безотказности невосстанавливаемых объектов.
3. Характеристики экспоненциального закона распределения наработки до отказа.
4. Характеристики закона распределения Вейбулла наработки до отказа.

5. Характеристики нормального закона распределения наработки до отказа.

6. Вероятность безотказной работы невосстанавливаемого 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 невосстанавливаемых объектов.

Тема 2.2. Модели надёжности восстанавливаемых изделий

Безотказность восстанавливаемых объектов. Физическая сущность безотказности восстанавливаемых объектов. Понятие о потоке отказов. Потоки отказов и восстановлений. Основные свойства потоков отказов. Модели безотказности восстанавливаемых объектов. Функции распределения числа отказов в интервале наработки объекта. Основные законы распределения числа отказов в интервале наработки объекта.

Методические указания

При изучении безотказности восстанавливаемых объектов уяснить сущность потока отказов при «мгновенном» восстановлении и основную его характеристику – число отказов в интервале наработки, являющуюся дискретной случайной величиной.

Исходя из этого, следует уяснить сущность моделей безотказности восстанавливаемых объектов, в качестве которых используются гипергеометрическое, биномиальное и пуассоновские распределения числа отказов.

Важно знать аналитические зависимости между характеристиками безотказности восстанавливаемых объектов.

Литература: [1] стр. 48-52, [6] стр.33-39, [8], [9] .

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризовать физическую сущность безотказности восстанавливаемых объектов.

2. Какие функции распределения числа отказов используются в качестве моделей безотказности восстанавливаемых объектов?

3. Охарактеризовать характеристики и условия применения гипергеометрического распределения?

4. Охарактеризовать характеристики и условия применения биномиального распределения.

5. Привести характеристики и условия применения распределения Пуассона.

6. Привести аналитические зависимости между характеристиками безотказности восстанавливаемых объектов.

Раздел 3. Оценка показателей надёжности изделий по данным испытаний и эксплуатационных наблюдений

Тема 3.1. Показатели надёжности изделий

Классификация показателей надёжности. Показатели безотказности невозстанавливаемых и восстанавливаемых изделий и методы их определения. Показатели долговечности изделий и методы их определения. Показатели ремонтпригодности изделий и методы их определения. Показатели сохраняемости изделий и методы их определения. Комплексные показатели надёжности. Изменение показателей надёжности по наработке. Функциональные зависимости между показателями надёжности.

Методические указания

Изучение единичных показателей надёжности следует начать с рассмотрения свойств надёжности: безотказности (подробно рассмотрены в предыдущей теме), ремонтпригодности, долговечности, сохраняемости. Определение этих свойств по ГОСТ 27.002.

Следует уяснить физическую суть каждого свойства надёжности и изучить единичные показатели, оценивавшие каждое свойство.

Изучение ремонтпригодности следует начать с рассмотрения модели процесса отказов и восстановлений. В этом процессе время восстановления является непрерывной случайной величиной, характеризующей ремонтпригодность. Значение этой величины определяется не только свойствами самого объекта, но и системы технического обслуживания и ремонта, поэтому следует ознакомиться с сущностью этой системы и ее назначением. Исходя из этого, показатели ремонтпригодности делятся на две группы: оценивающие оперативную (временную) сторону и экономическую.

При изучении долговечности объектов важно уяснить сущность свойства долговечности и предельного состояния. В зависимости от вида предельного состояния определить разницу и сходство между свойствами безотказности и долговечности ремонтируемых и неремонтируемых изделий. Необходимо понять сущность того, что различая интенсивность протекания процессов, воздействующих на авиационной техники, приводит к разбивке показателей на две группы: по календарной продолжительности эксплуатации (сроки службы) и по наработке объектов (ресурсы). При оценке уровня долговечности объекта важное значение имеет выбор показателя (виды ресурса).

При изучении сохраняемости необходимо рассмотреть причины, приводящие к снижению уровня безотказности и долговечности объектов, находящихся на хранении.

Для рассмотрения законов распределения наработки до отказа и количества отказов необходимо восстановить предварительно знания, полученный при изучении курса «Теория вероятностей». Законы распределения дискретных случайных величин (биномиальный, гипергеометрический, Пуассона) и их параметры. При изучении обратить внимание на методы оценки теоретических параметров распределения наработки до отказа (вероятностная бумага, метод моментов, метод максимума правдоподобия).

При изучении темы рассмотреть случайный процесс отказов и восстановлений обратить внимание на две случайные величины: наработка до отказа и время восстановления. Следует рассмотреть определения коэффициентов готовности, технического использования, оперативной готовности по ГОСТ 27.002. и статистическую оценку перечисленных показателей с целью их определения по результатам эксплуатационных наблюдений.

При рассмотрении комплексной оценки надежности учесть этапы проектирования, производства и эксплуатации.

Литература: [1] стр.52-61, [5] стр. 6-10.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризовать единичные показатели надежности.
2. Безотказность как одно из свойств надежности.
3. Какие используются показатели безотказности и методы их определения.
4. Долговечность как одно из свойств надежности.
5. Какие используются показатели долговечности и методы их определения.
6. Ремонтпригодность как одно из свойств надежности.
7. Какие используются показатели ремонтпригодности и методы их определения.
8. Сохраняемость как одно из свойств надежности.
9. Какие используются показатели сохраняемости и методы их определения.
10. Параметры основных законов распределения непрерывных и дискретных случайных величин.
11. Методы оценки параметров распределения наработки до отказа.
12. Критерии согласия и их применение.
13. Определение и физическая сущность комплексных показателей надежности.
14. Методы расчета коэффициента готовности.
15. Методы расчета коэффициента технического использования.
16. Методы расчета коэффициента оперативной готовности.
17. Комплексная оценка надежности.

Тема 3.2. Планирование испытаний и эксплуатационных наблюдений

Виды испытаний и эксплуатационных наблюдений. Классификация испытаний изделий на надёжность. План испытаний и эксплуатационных наблюдений. Методы ускоренных испытаний изделий. Определение (выбор) объектов наблюдения, плана наблюдения, условий эксплуатации и режимов работы, места проведения и объёмов наблюдения. Особенности реального плана наблюдений. Полные и цензурированные эксплуатационные данные.

Система сбора и обработки информации о надежности авиационной техники.

Методические указания

Изучая вопросы испытания объектов, надо уяснить цель их проведения. Необходимо разобраться в назначении, периодичности проведения испытаний в опытно – конструкторских предприятиях и опытных заводах, на серийных заводах, в эксплуатационных предприятиях.

Необходимо уяснить сущность планов испытаний, с заменой и без замены отказавших изделий, до заданного количества отказов или до заданной наработки.

Следует изучить источники и задачи информации от отказах и повреждениях объектов авиационной техники. Рассмотреть свойства полных и цензурированных эксплуатационных данных по наработкам до отказа изделий авиационной техники.

Литература: [1] стр.62-70, [2] стр.64-70, [4] стр.35-39, [10], [11].

Вопросы для самопроверки

1. Виды испытаний и их классификация.
2. Виды испытаний на надежность.
3. Виды испытаний на ремонтпригодность.
4. Ускоренные испытания.
5. Классификация планов испытаний.
6. Источники и задачи информации о надежности объектов.
7. Полные и цензурированные данные эксплуатационных наблюдений.
8. Тема 3.3. Непараметрические методы оценки показателей надёжности изделий (2 часа).

Задачи оценки показателей надёжности невосстанавливаемых изделий непараметрическим методом по полным данным. Точечная оценка показателей надёжности с использованием функции максимального правдоподобия. Интервальная оценка показателей надёжности. Задачи оценки показателей надёжности непараметрическим методом при однократно и многократно цензурированных выборках при разных планах эксплуатационных наблюдений. Оценка показателей надёжности восстанавливаемых изделий.

Методические указания

Для изучения данной темы необходимо уяснить способы представления данных эксплуатационных наблюдений (полные данные, однократно и многократно цензурированные выборки, планы наблюдений), а также задачи и ограничения применения непараметрических методов оценки показателей надёжности объектов. Необходимо научиться получать выражения для точечной оценки надёжности объектов с использованием функции максимального правдоподобия. Изучить физическую сущность понятий доверительных интервалов и методы их вычисления.

Литература: [1] стр. 78-87, [4] стр.28-31, [5] стр. 15-21, 82-87, [6] стр. 21-32.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте непараметрические методы оценки показателей надежности объектов.
2. Точечная оценка показателей надежности объектов.
3. Интервальная оценка показателей надежности объектов.
4. Оценка показателей надежности по однократно цензурированным выборкам.
5. Оценка показателей надежности по многократно цензурированным выборкам.
6. Оценка показателей надежности восстанавливаемых объектов.

Тема 3.4. Параметрические методы оценки показателей надёжности изделий

Классификация методов оценки показателей надёжности изделий. Особенности параметрических методов оценки надёжности изделий. Построение временной диаграммы и вариационного ряда наработок до отказа и до цензурирования. Построение статистических функций распределения (гистограммы) плотности вероятности наработки до отказа и интенсивности отказов. Принятие гипотезы о законе распределения наработки до отказа. Оценка параметров распределения наработки до отказа методами моментов и максимального правдоподобия. Проверка гипотезы о законе распределения наработки до отказа. Оценка показателей надёжности по параметрам распределения.

Методические указания

Изучать тему необходимо с классификации методов оценки показателей надежности. Следует изучать цели и возможности применения параметрического и непараметрического методов оценки.

Для оценки надежности и анализа причин возникновения отказов большое значение имеет знание законов распределения наработок до отказа и их параметров. Необходимо научиться обрабатывать результаты эксплуатационных наблюдений. – ряд значений случайной величины (наработки до отказа).

При изучении метода моментов следует учесть, что характеристики случайной величины в теории вероятностей называют моментами K – го порядка.

При изучении метода максимума правдоподобия нужно обратить внимание на построение функции максимального правдоподобия.

Проверку гипотез о законе распределения удобно рассмотреть на примере применения критерия согласия χ^2 .

Литература: [1] стр.15-35, [4] стр.13-24, 31-35, [5] стр. 15-35, 87-96, [6] стр. 13-22, [9].

Вопросы для самопроверки

1. Непараметрические методы оценки.
2. Точечная оценка показателей надежности.
3. Интервальная оценка показателей надежности.

4. Оценка показателей надежности по однократно цензурированным выборкам.

5. Оценка показателей надежности по многократно цензурированным выборкам.

6. Оценка показателей надежности для восстанавливаемых объектах.

Раздел 4. Методы расчёта и анализа надёжности функциональных систем

Тема 4.1. Виды резервирования объектов АТ. Характеристика функциональных систем ЛА

Виды резервирования объектов. Оценка показателей надёжности при последовательном и параллельном соединении элементов. Классификация резервирования объектов. Виды структурного резервирования объектов. Оценка показателей надёжности при разных видах структурного резервирования.

Методические указания

Резервирование рассматривается как одно из основных средств обеспечения заданного уровня надежности объекта при недостаточно надежных элементах. В зависимости от характера дополнительных средств и возможностей, применяемых при резервировании, рассматриваются следующие виды резервирования: структурное, временное, информационное, функциональное и нагрузочное. При изучении структурного резервирования дать сравнительную оценку общего и раздельного резервирования. Показать особенности резервирования замещением и скользящего резервирования. Для систем с восстановлением рассмотреть влияние технического обслуживания на эффективность резервирования.

Литература: [2] стр. 3-13.

Вопросы для самопроверки

1. Виды резервирования объектов.

2. Виды структурного резервирования объектов.

характеристика общего резервирования объектов.

3. Характеристика раздельного резервирования объектов.

4. особенности скользящего резервирования и резервирования замещением.

Тема 4.2. Методы анализа надёжности функциональных систем ЛА

Анализ надёжности функциональных систем методом структурных схем и условия его применения. Анализ надёжности функциональных систем методом логических схем и условия его применения. Анализ надёжности функциональных систем табличным методом и условия его применения. Пути повышения надёжности функциональных систем ЛА.

Методические указания

При изучении методов расчета надежности сложных систем рассмотреть различные способы описания условий их работоспособности: структурные, схемы, функции алгебры логики. Моделирование надежности сложных систем рассматривается в зависимости от их свойств: системы без восстановления,

системы с восстановлением, монотонные системы. Необходимо уяснить особенности расчета надежности при последовательном и параллельном соединении элементов при независимых и зависимых отказах.

Требования ИКАО к надежности сложных систем авиационной техники определяются влиянием отказов на безопасность полетов.

Литература: [2] стр.14-32, [4] стр. 40-44, [5] стр.40-50.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризовать модели расчета надежности сложных систем.
2. Расчет надежности системы при последовательном соединении элементов.
3. Расчет надежности системы при параллельном соединении элементов.
4. Требования ИКАО к надежности сложных систем авиационной техники.

Раздел 5. Обеспечение надёжности объектов на разных этапах жизненного цикла АТ

Тема 5.1. Обеспечение надёжности при проектировании АТ

Воздействие на надёжность объектов внешних и внутренних факторов. Нормирование требований к надёжности объектов. Требования к надёжности по обеспечению безопасности полётов. Задание и распределение требований к надёжности. Выбор проектных решений с учётом надёжности. Проектирование объектов на заданную надёжность. Пути повышения надёжности АТ при проектировании. Принципы ускоренных испытаний объектов на надёжность. Роль человеческого фактора в обеспечении надёжности АТ при эксплуатации.

Методические указания

Рассмотреть классификацию факторов, влияющих на надёжность объектов. Анализ воздействия на объекты внешних и внутренних факторов выполнить с учетом характера отказов и механизма их возникновения. Законы распределения наработки до отказа, применяемые при расчете показателей надежности, выбираются с учетом физических представлений о процессах, приводящих к отказам.

Задачи нормирования надежности решаются исходя из требований норм летной годности и критериев эффективности эксплуатации летательных аппаратов. Проектирование объектов на заданную надёжность связано с распределением требований по надёжности между системами и элементами и выбором проектных решений.

Изучить основные конструктивные способы обеспечения надежности на базе проведения.

Литература: [2] стр.33-54.

Вопросы для самопроверки

1. Факторы, влияющие на надёжность объектов.
2. Охарактеризовать методы нормирования показателей надежности на этапе проектирования.

3. Проектирование элементов конструкции объектов на заданную надежность.
4. Конструктивные методы обеспечения надежности объектов.
5. Резервирование – как способ повышения надежности объектов при проектировании.

Тема 5.2 . Производственно-технологические методы обеспечения надёжности АТ

Производственно-технологические причины отказов и их влияние на надёжность АТ. Метод конструктивно-технологического формирования изделий. Методы технического контроля качества изделий. Применение методов статистического контроля качества и регулирование технологических процессов. Технологические методы повышения надёжности АТ.

Методические указания

При изучении производственно – технологических причин отказов выделить дефекты материалов, дефекты технологических процессов формообразования деталей, дефекты термообработки деталей, дефекты сборки и испытаний систем и изделий. При рассмотрении технологических способов повышения надежности обратить особое внимание на процессы поверхностного упрочнения деталей.

Среди методов промышленного контроля качества, наряду с неразрушающими методами контроля, рассматриваются методы статистического контроля по альтернативному и количественному признакам, а также методы статистического регулирования технологических процессов.

Литература: [2] стр.55-70, [6] стр. 36-41,

1. Вопросы для самопроверки
2. Технологические способы обеспечения надежности объектов.
3. Влияние технологических процессов изготовления объектов на надежность.
4. Влияние упрочняющих технологических процессов на надежность объектов.
5. Методы статистического контроля качества объектов.
6. Роль и место статистических методов управления качеством продукции в обеспечении надежности объектов.

Тема 5.3. Контроль надёжности АТ в эксплуатации

Статистический контроль показателей надёжности АТ. Одноступенчатый контроль различных показателей надёжности объектов. Последовательный контроль различных показателей надёжности объектов. Индивидуальный контроль норм надёжности при эксплуатации АТ. Оперативная оценка надёжности серийных партий изделий при эксплуатации. Эксплуатационные методы повышения надежности.

Методические указания

При изучении темы следует рассмотреть виды статистического контроля надежности, особенности методов одноступенчатого и последовательного

контроля по альтернативному признаку. Необходимо различать мероприятия по поддержанию требуемого уровня надежности и мероприятия, направленные на повышение надежности. К первым относятся плановые и неплановые виды технического обслуживания и ремонта. Ко вторым относятся доработки конструкции, целесообразность выполнения которых определяется на основе анализа статистических данных об отказах и неисправностях.

Изучить информационное обеспечение анализа надежности и восстановления исправности авиационной техники. Освоить методы статистического регулирования уровня безотказности объектов авиационной техники по критериям эффективности технической эксплуатации.

К прикладным задачам теории надежности относятся определение режимов технического обслуживания и ремонта и расчет количества запасных частей.

Литература: [2] стр.71-90, [4] стр. 3-62, [6] стр. 36-41.

Вопросы для самопроверки

1. Показать сущность методов статистического контроля надежности по альтернативному признаку.
2. Характеристика одноступенчатого и последовательного контроля надежности по альтернативному признаку.
3. Индивидуальный контроль надежности авиационной техники при эксплуатации.
4. Характеристика информационного обеспечения анализа авиационной техники..
5. Инженерный анализ отказов и повреждений авиационной техники.
6. Оценка эффективности мероприятий по повышению надежности объектов.
7. Статистическое регулирование безотказности объектов в эксплуатации.
8. Определение количества запасных частей по статистическим данным о надежности объектов.
6. Прогнозирование надежности объектов.
9. Характеристика эксплуатационных методов обеспечения надежности объектов.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1. Структура курсовой работы

При выполнении КР необходимо решить следующие задачи:

- 1). Анализ данных эксплуатационных наблюдений за отказами изделий системы кондиционирования воздуха (СКВ) парка ЛА.
- 2). Статистический анализ показателей безотказности невосстанавливаемых изделий ЛА параметрическим методом.

3). Статистический анализ показателей безотказности невосстанавливаемых изделий ЛА непараметрическим методом.

4). Статистический анализ показателей безотказности восстанавливаемых изделий ЛА.

5). Расчет показателей безотказности функциональной системы (ФС) ЛА.

Пояснительная записка КР должна включать:

Титульный лист;

Техническое задание (№ варианта задания, наименование ФС ЛА, принципиальная схема ФС ЛА, формулировка задач, исходные данные, ограничения и допущения);

Основную часть, включающую решение поставленных задач: краткое описание устройства и принципа работы ФС ЛА, применяемые термины и определения, последовательное изложение материалов по решению задач согласно техническому заданию, а именно: расчеты, построенные графики, пояснения к ним, выводы. При приведении результатов расчетов в табличной (графической) форме даются примеры расчетов с подстановкой исходных данных в расчетные формулы;

Выводы по результатам решения задач выполненной работы и в целом по КР;

Список использованной литературы.

3.2. Техническое задание

В качестве объектов в задачах анализа безотказности изделий функциональной системы ЛА выбираются по № варианта задания типовые изделия систем кондиционирования воздуха (СКВ) самолетов Ил-62, Ту-154, Як-40: заслонки, воздухо-воздушные радиаторы, турбохолодильники, обратные клапаны, регуляторы избыточного давления, фильтры, регуляторы подачи воздуха.

Исходные данные для выполнения КР приведены в приложении 1. Выбор варианта задания производится согласно шифру зачетной книжки по сумме двух последних цифр (табл. П.1.1 приложения 1). Например, для шифра М73576, вариант 13 (7+6).

Исходными данными по вариантам заданий (приложение 1):

для решения задач 1-4 являются результаты эксплуатационных наблюдений за отказами изделий СКВ: наработки до отказа и наработки до цензурирования (табл. П.1.1, П.1.2 приложения 1).

для решения задачи 5 используются принципиальные схемы СКВ и табл. П.2.1- П.2.3 (приложение 2).

Задание состоит из следующих задач.

1). Анализ данных эксплуатационных наблюдений за отказами изделий СКВ парка ЛА.

2). Статистический анализ показателей безотказности невосстанавливаемых изделий ЛА параметрическим методом.

3). Статистический анализ показателей безотказности невосстанавливаемых изделий ЛА непараметрическим методом.

4). Статистический анализ показателей безотказности восстанавливаемых изделий ЛА.

5). Расчет показателей безотказности функциональной системы ЛА.

При решении каждой задачи должны быть выполнены следующие операции.

Задача № 1. Анализ данных эксплуатационных наблюдений за отказами изделий СКВ парка ЛА.

1.1). Определение вида случайных величин наработки изделий (реализаций): наработки до отказа («полные реализации») и наработки до цензурирования («неполные реализации»).

1.2). Определение понятий: однократно цензурированные и многократно цензурированные выборки.

1.3). Построение ранжированных временных диаграмм (аналогов вариационных рядов) наработок до отказа $t_i, i=\overline{1, n}$ и наработок до цензурирования $\tau_j, j=\overline{1, m}$.

1.4). Выбор размаха и числа интервалов временных диаграмм.

Задача № 2. Статистический анализ показателей безотказности невосстанавливаемых изделий ЛА параметрическим методом.

2.1). Классификация и выбор методов оценки показателей безотказности изделий.

2.2). Оценка показателей безотказности параметрическим методом для однократно цензурированной выборки.

а) оценка и построение гистограмм статистической плотности распределения $f^*(t)$ и статистической интенсивности отказов $\lambda^*(t)$;

б) формирование гипотезы о законе распределения для однократно цензурированной выборки;

в) оценка параметров распределений для однократно цензурированной выборки: экспоненциального λ^* (экспоненциального); a^* и b^* (Вейбулла); m_t^* и σ_t^* (нормального);

г) проверка гипотезы о законе распределения для однократно цензурированной выборки по критерию Пирсона χ^2 ;

д) оценка показателей безотказности для принятого закона распределения наработки до отказа.

Задача № 3. Статистический анализ показателей безотказности невосстанавливаемых изделий ЛА непараметрическим методом.

3.1). Оценка показателей безотказности по полным данным.

а) определить число невосстанавливаемых изделий N и число отказавших изделий n . Найти доверительные границы для вероятности безотказной работы P_H и P_B при двухсторонней доверительной вероятности $\alpha = 0,95$;

б) обосновать необходимость определения доверительного интервала (нижнюю P_H и верхнюю P_B границы) для доверительной вероятности α .

3.2). Оценка показателей безотказности по многократно цензурованным выборкам: $P(t), T_{cp}, T_\gamma$

а) определить точечные оценки вероятности безотказной работы за период наработок до профилактики $t_1 < t_i, t_{i+1} \leq t_n$ в пределах выборки $t_i, i = \overline{1, n}$;

б) вычислить гамма-процентную наработку T_γ при $\gamma = 0,85$.

Задача № 3. Статистический анализ показателей надежности невосстанавливаемых изделий ЛА непараметрическим методом.

3.1). Оценка показателей безотказности по полным данным.

а) определить число невосстанавливаемых изделий N и число отказавших изделий n . Найти доверительные границы для вероятности безотказной работы P_H и P_B при двухсторонней доверительной вероятности $\alpha = 0,95$;

б) обосновать необходимость определения доверительного интервала (нижнюю P_H и верхнюю P_B границы) для доверительной вероятности α .

3.2). Оценка показателей безотказности по многократно цензурованным выборкам: $P(t), T_{cp}, T_\gamma$.

а) определить точечные оценки вероятности безотказной работы за период наработок до профилактики $t_1 < t_i, t_{i+1} \leq t_n$ в пределах выборки $t_i, i = \overline{1, n}$;

б) определить гамма-процентную наработку T_γ при $\gamma = 0,85$;

в) определить доверительные интервалы $P(t)$.

3.3). Оценка показателей долговечности изделий.

а) определить средний ресурс $T_{p\text{ ср}}$;

б) определить гамма-процентный ресурс $T_{p\gamma}$.

3.4). Оценка показателей сохраняемости.

а) определить средний срок хранения $T_{xp\text{ ср}}$;

б) определить гамма-процентный срок хранения $T_{xp\gamma}$.

Задача № 4. Статистический анализ показателей безотказности восстанавливаемых изделий ЛА.

4.1). Построение временной диаграммы однотипных восстанавливаемых изделий

$N = N_c k$, где N_c — число самолетов, k — число изделий на самолете, выбор числа интервалов и разбивка временной диаграммы на интервалы.

4.2). Статистическая оценка параметра потока отказов $\omega(t)$, построение гистограммы, выравнивание методом наименьших квадратов и определение вероятности безотказной работы восстанавливаемых изделий за интервал наработки до i -й формы периодического технического обслуживания ЛА $t_2 = 300$ ч, $t_3 = 900$ ч.

4.3). Оценка показателей ремонтпригодности.

а) определить вероятность восстановления $P(t_B)$;

б) определить среднее время восстановления $t_{в\text{ ср}}$.

4.5). Оценка комплексных показателей надежности.

а) определить коэффициент готовности K_r ;

б) определить коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$;

в) определить удельную трудоемкость технического обслуживания и ремонта $\tau_{уд}$.

Задача № 5. Расчет показателей безотказности ФС ЛА.

5.1). Анализ функциональной системы.

а) по описанию и принципиальной схеме ФС изучение принципа построения системы, рабочих функций изделий и взаимосвязи между ними;

б) определение условий обеспечения работоспособности системы с учетом состояния ее элементов;

в) определение вероятностей безотказной работы изделий.

5.2). Расчет показателей надежности ФС методом структурных схем.

а) построение структурной схемы ФС для расчета показателей надежности на основе условий безотказной работы системы;

б) составление выражения для расчета вероятности безотказной работы ФС;

в) расчет вероятности безотказной работы ФС по значениям вероятностей безотказной работы изделий.

5.3). Расчет показателей надежности ФС методом логических схем.

а) составление алгебраического уравнения событий безотказной работы ФС;

б) построение логической схемы ФС для расчета показателей надежности на основе условий безотказной работы системы;

в) составление выражения для расчета вероятности безотказной работы ФС;

г) расчет вероятности безотказной работы ФС по известным значениям вероятностей безотказной работы изделий;

д) анализ надежности ФС на соответствие требованиям по уровню надежности при эксплуатации.

3.3. Методические указания по решению задач

3.3.1. Анализ данных эксплуатационных наблюдений за отказами изделий СКВ самолетов

1). Исходные данные (табл. П.1.1 и табл. П.1.2 приложения 1) анализируются в соответствии с заданиями своего варианта. При этом статистические данные содержат два типа случайных величин (реализаций): наработки изделий, составляющих выборки:

а) реализации, представляющие собой случайные величины наработок до отказа (между отказами) t_i , $i = \overline{1, n}$. Назовем их «полными реализациями»;

б) реализации, представляющие собой величины наработок изделий до цензурирования τ_j , $j=\overline{1,m}$. Это соответствует случаю, когда испытания (наблюдения) прекращены или объект снят с испытаний до наступления отказа. Назовем их «неполными реализациями».

2). В первом случае используется полная выборка. Во втором случае имеет место цензурирование — событие, приводящее к прекращению эксплуатационных наблюдений изделий до наступления отказа (предельного состояния).

При формировании выборки изделий во втором случае образуется цензурированная выборка, элементами которой являются значения наработок до отказа t_i , $i = \overline{1,n}$ (полные реализации) и наработок до цензурирования τ_j , $j=\overline{1,m}$ (неполные реализации). Различаются однократно и многократно цензурированные выборки. В однократно цензурированной выборке значения всех наработок до цензурирования равны между собой и меньше наибольшей наработки до отказа. Многократно цензурированная выборка характеризуется значениями наработок до цензурирования, не равными между собой.

3). В качестве аналога вариационного ряда рекомендуется использовать ранжированную временную диаграмму, в которой реализации расположены в следующем порядке: сначала полные реализации в порядке возрастания, затем неполные реализации в порядке убывания. Построение ранжированных временных диаграмм для однократно цензурированной выборки (рис. П.3.1, приложения 3) и для многократно цензурированной (рис. П.3.4 приложения 3) — по данным табл. П.1.1 приложения 1.

4). На построенных ранжированных временных диаграммах (рис. П.3.1, П.3.4) производится группировка результатов наблюдений путем разбиения всего периода наблюдений (размаха), содержавшего n полных реализаций t_i , $i = \overline{1,n}$ на L равных или неравных интервалов Δt_k , но только не пустых. Для этого проводятся два крайних сечения ранжированной диаграммы, первое — через точку, соответствующую окончанию наименьшей из полных реализаций (или левее этой точки), вторую — через точку, соответствующую окончанию наибольшей из реализаций (или правее этой точки).

Расстояние между крайними сечениями определяет размах v , полученное значение которого разбивается на L интервалов и проводятся сечения диаграммы, соответствующие границам интервалов.

3.3.2. Статистический анализ безотказности невосстанавливаемых изделий СКВ самолета параметрическим методом.

1). Анализ методов оценки показателей надежности изделий

Параметрический метод оценки показателей надежности предусматривает при известном законе распределения наработки до отказа и других случайных величин выполнение следующих операций: оценку параметров закона распределения, входящих в расчетную формулу определенного показателя надежности, и оценку показателей надежности по вычисленным

оценкам параметров закона распределения. При неизвестном законе распределения определяется сначала закон распределения.

Непараметрический метод предусматривает при неизвестном законе распределения наработки до отказа выполнение непосредственной оценки показателей надежности по данным эксплуатационных наблюдений.

Оценка показателей надежности изделий производится по результатам ограниченного количества наблюдений (выборки), представляющих некоторую часть генеральной совокупности. Под генеральной совокупностью подразумеваются результаты наблюдений по всем изделиям всего парка самолетов данного типа.

Показатель надежности θ^* , определенный по результатам наблюдений за выборкой, является статистической оценкой показателя надежности θ . Для оценки показателей надежности применяют точечные и интервальные оценки.

Для статистического оценивания необходимо, чтобы выборка была представительна, т.е. достаточно полно отражала свойства генеральной совокупности типа. Критерием качества точечной оценки служат: несмещенность — $M[\theta^*] = \theta$; эффективность — $M[\theta^* - \theta]^2_{min}$; состоятельность — $\lim P[|\theta^* - \theta| < \varepsilon] = 1$, где $M[\theta^*]$ — математическое ожидание θ^* , n — объем выборки.

2). Задача оценки показателей безотказности параметрическим методом заключается в следующем. По данным наблюдений известны наработки t_1, t_2, \dots, t_n до отказа n изделий и наработки $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n, \tau_{n+1}, \dots, \tau_N$ до цензурирования $(N - n)$ изделий за время T , определяющего период эксплуатационных наблюдений. Данная совокупность статистических данных характеризуется переменностью парка изделий в различных интервалах наработки и усеченностью выборки.

Рекомендуется следующий порядок решения задачи:

построение ранжированной временной диаграммы для однократно цензурированной выборки (рис. П.3.1, приложения 3);

построение гистограмм плотности вероятности наработки до отказа $f^*(t)$, и интенсивности отказов $\lambda^*(t)$ (рис. П.3.2, приложения 3);

формирование гипотезы о законе распределения наработки до отказа с учетом характера теоретических зависимостей $f(t)$ и $\lambda(t)$ (рис. П.3.3, приложения 3);

оценка параметров распределения наработки до отказа;

проверка гипотезы о законе распределения наработки до отказа по критерию Пирсона χ^2 ;

оценка показателей надежности.

Оценка статистической плотности распределения $f^*(t)$ и интенсивности отказов $\lambda^*(t)$ производится для каждого интервала Δt_i по формулам:

$$f_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{N_i \cdot \Delta t_i}, \quad (3.1)$$

$$\lambda_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{[N_i - n_i(t)] \cdot \Delta t_i}, \quad (3.2)$$

где Δn_i — число отказавших изделий в интервале Δt_i ;

N_i — число изделий, наблюдаемых в интервале Δt_i ;

$n_i(t)$ — число отказавших изделий до начала i -го интервала.

Число N_i для i -го интервала определяется как общее число всех реализаций диаграммы за исключением тех неполных реализаций $\sum_{i=1}^{i-1} m_i$, которые по величине меньше левой границы этого интервала

$$N_i = N - \sum_{i=1}^{i-1} m_i.$$

Результаты расчетов по (3.1, 3.2) представляются в виде таблицы и гистограмм $f^*(t)$ и $\lambda^*(t)$ (рис. П.3.2 приложения 3).

Формирование гипотезы о законе распределения наработки до отказа должно основываться на анализе физики отказов и сравнительном анализе гистограмм $f^*(t)$ и $\lambda^*(t)$ с теоретическими кривыми $f(t)$ и $\lambda(t)$ по их виду для различных законов распределения (рис. П.3.3, приложения 3).

Оценка параметров распределения для однократно цензурированной выборки выполняется методом максимального правдоподобия.

Метод максимального правдоподобия состоит в следующем: строится функция правдоподобия $L(t, \theta)$, зависящая от результатов наблюдений выборки из N изделий $t_1, t_2, \dots, t_n, (N - n)T^*$ и параметра θ неизвестного закона распределения наработки до отказа $F(t, \theta)$. Задача метода — найти оценку θ^* . Оценка будет достаточной, если предположить, что при этом ее значении вероятность наблюдаемого результата максимальна $P\{t, \theta\} \rightarrow \max$.

Для нахождения максимума строится функция правдоподобия, учитывающая все наблюдения $L(t, \theta) = \prod P\{t, \theta\}$, и определяется \max этой функции из условия $dL(t, \theta)/d\theta - 0$ и соответствующее этому максимуму значение параметра θ^* .

Для случая усеченной выборки при экспоненциальном законе распределения наработки до отказа функция плотности распределения запишется:

$$f(t) = \lambda^* e^{-\lambda t} = \frac{1}{T_{cp}} e^{-t/T_{cp}},$$

где T_{cp} — средняя наработка до отказа, $\lambda^* = \frac{1}{T_{cp}}$.

Для периода наблюдения T функция правдоподобия будет иметь вид:

$$L^T = \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{1}{T_{cp}} e^{-t_i/T_{cp}} \right) - (N - n) \frac{T}{T_{cp}},$$

Отсюда находим среднюю наработку до отказа T_{cp}

$$\frac{dL(t)}{dL(T_{cp})} = \frac{n}{T_{cp}} + \frac{n}{T_{cp}^2} + \sum_{i=1}^n t_i + \frac{N - n}{T_{cp}^2} T_{cp},$$

тогда

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^{(c)} \Delta n_i + \frac{N-n}{n} T, \quad (3.3)$$

где $t_i^{(c)}$ - средняя наработка до отказа 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 наблюдаемых изделий;

n - число отказавших элементов за период наблюдения;

T - период наблюдения.

Функции и параметры распределений (экспоненциального, нормального и Вейбулла) приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Функции и параметры распределения наработки до отказа изделий

Закон распределения	Функция распределения $F(t)$	Параметры распределения
Экспоненциальный	$1 - e^{-\lambda t}$	$\lambda = \frac{1}{T_{\text{ср}}}$
Нормальный	$\Phi\left(\frac{t - m_t}{\sigma_t}\right)$ по табл. 5.1 приложения 5	$m_t = T_{\text{ср}}$ $\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - T_{\text{ср}})^2}$
Вейбулла	$1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}$	$\vartheta = \frac{\sigma_t}{m_t},$ $a = \frac{m_t}{K_b},$ $b = f(\vartheta),$ где b и K_b по табл. 5.3 приложения 5

Оценка параметров распределения по формулам приведенным в табл.

П.3.1 приложения 3:

- 1) оценка параметра экспоненциального распределения λ ;
- 2) оценка параметров нормального распределения m_t и σ_t ;
- 3) оценка параметров распределения Вейбулла a и b

- расчет коэффициента вариации $\vartheta = \frac{\sigma_t}{m_t},$

- определение параметра распределения b и коэффициента K_b по табл.

П.5.3 приложения 5,

- расчет параметра распределения $a = \frac{m_t}{K_b}.$

Проверка гипотезы о законе распределения для однократно цензурированной выборки может выполняться по критерию Пирсона χ^2 .

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^L \frac{(\Delta n_i - NP_i)^2}{NP_i}, \quad (3.4)$$

где L — число интервалов группирования;

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

NP_i — среднее число данных, попавших в i -й интервал при условии, что гипотеза о законе распределения верна, $P_i = F(t_i) - F(t_{i-1})$.

Большое значение критерия χ^2 указывает на расхождение между гипотезой и статистическими данными. Поэтому критической областью является интервал

$\{\chi^2_{1-0,01\alpha,\infty}\}$, где α — принятый уровень значимости в %. Уровень значимости — это выраженная в процентах максимально допустимая вероятность неправильного отвержения гипотезы (ошибка первого рода). Наиболее употребительные уровни значимости — 1; 5; 10%; $\chi^2_{1-0,01\alpha}$ — квантиль χ^2 распределения с $L-1-S$ степенями свободы, отвечающий вероятности $1 - 0,01\alpha$, где S — число наложенных связей, зависящих от числа параметров предполагаемого закона распределения наработки до отказа. Значения квантилей приведены в табл. П.5.4 приложения 5. Входами в таблицу являются число степеней свободы $L-1-S$ и вероятность $1 - 0,01\alpha$. Если расчетное значение критерия χ^2 расч. попадет в критическую область, т.е. $\chi^2_{\text{расч}} \geq \chi^2_{1-0,01\alpha}$, то гипотеза отвергается, в противном случае — принимается.

Знание закона распределения и его параметров позволяет определить показатели надежности изделий.

3.3.3. Учитывая особенности данных эксплуатационных наблюдений, целесообразно рассмотреть оценку показателей надежности непараметрическим методом отдельно по полным данным и цензурированным выборкам.

1). Задача оценки показателей надежности по полным данным формулируется следующим образом. Если под наблюдением находится N однотипных изделий с неизвестной, но одинаковой вероятностью отказа $q(t)$, то за фиксированную наработку T число отказавших изделий r является случайной величиной, имеющей биномиальное распределение

$$P(r = n) = C_N^n q^n (1 - q)^{N-n}. \quad (3.5)$$

Требуется найти оценку вероятности безотказной работы $P=1-q$. Оценка вероятности отказа q может быть получена методом максимального правдоподобия. Функция правдоподобия, полученная из (3.5), зависит от значений N и n

$$L(q) = C_N^n q^n (1 - q)^{N-n}.$$

В интервале $1 > q > 0$ при любом виде функции $L(q)$ имеет максимум. Функцию правдоподобия сначала логарифмируют

$$\ln L(q) = \ln C_N^n + n \ln q + (N - n) \ln(1 - q),$$

затем дифференцируют

$$\frac{\partial \ln L}{\partial q} = \frac{n}{q} = \frac{N-n}{1-q}.$$

Откуда находится точечная оценка для вероятности отказа при наработке T

$$q^* = \frac{n}{N} \quad (3.6)$$

и точечная оценка вероятности безотказной работы при наработке T

$$P^* = 1 - \frac{n}{N}. \quad (3.7)$$

Любая точечная оценка, если даже она удовлетворяет всем критериям качества, обладает существенным недостатком, представляя собой лишь частное значение случайной величины. Поэтому, кроме точечной оценки, желательно знать "надежные" границы, так называемые доверительный интервал и доверительную вероятность.

Задача заключается в том, чтобы по выборочным характеристикам случайной величины q^* определить нижнюю q_n и верхнюю q_b доверительные границы генеральной характеристики q . Эти границы и определяют интервал, который с некоторой доверительной вероятностью покрывает q , рис. П. 2.6 приложения 2

$$\alpha^* = P\{q_n \leq q \leq q_b\}. \quad (3.8)$$

Величина α^* называется двухсторонней доверительной вероятностью. Односторонние доверительные вероятности α_1 и α_2 входят в условия

$$\alpha_1 = P\{q \leq q_n\}, \quad (3.9)$$

$$\alpha_2 = P\{q \geq q_b\}.$$

Тогда из (4.8 - 4.10.) получим соотношение

$$\alpha^* = \alpha_1 + \alpha_2 - 1. \quad (3.11)$$

В частном случае, когда $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, уравнение (3.11) записывается в таком виде

$$\alpha^* = 2\alpha - 1.$$

Величина (ширина) доверительного интервала характеризует точность выборочной оценки генеральной характеристики, а доверительная вероятность — достоверность оценки.

Выражение для оценки имеет вид $q^* = n/N$, где N — фиксированная неслучайная величина, а n — случайная величина. Поэтому можно утверждать, что независимо от вида функции распределения наработки на отказ оценка для вероятности отказа q^* имеет также биномиальное распределение.

Учитывая это, границы доверительного интервала могут быть определены из уравнений:

$$1 - \alpha_1 = \sum_{i=n}^N C_i^N q_H^i (1 - q_H)^{N-i}$$

$$1 - \alpha_2 = \sum_{i=0}^n C_i^N q_B^i (1 - q_B)^{N-i}$$

Введем коэффициенты R_0, R_1, R_2 , приведенные в табл. П.5.5, П.5.6, П.5.7 приложения 5, по которым доверительные границы для вероятности q вычисляются по следующим формулам:

$$\text{при } n = 0, q_H = 0, q_B = R_0/N, \quad (3.12)$$

$$\text{при } n \neq 0, q_H = n/N, q_B = n/N R_{12}. \quad (3.13)$$

Коэффициенты R_0, R_1, R_2 определяются по формулам:

$$R_0 = N(1 - \sqrt[N]{1 - \alpha}),$$

$$R_1 = \frac{n(2N - n + \frac{1}{2}\chi_{1-\alpha}^2)}{N\chi_{1-\alpha}},$$

$$R_2 = \frac{n(2N - n + \frac{1}{2}\chi_{\alpha}^2)}{N\chi_{\alpha}},$$

где: $\chi_{1-\alpha}$ — квантиль распределения χ^2 с $k = 2n$ степенями свободы;

χ_{α} — квантиль распределения χ^2 с $k = 2(n + 1)$ степенями свободы.

Оценка доверительных границ вероятности безотказной работы определяется следующим образом

$$P_H - 1 - q_B, P_B - 1 - q_H.$$

Примеры оценок показателей безотказности по полным данным непараметрическим методом приведены в приложении 4 (примеры П.4.1, П.4.2).

Оценки, определяемые выражениями (3.6), (3.7) являются эффективными и несмещенными.

2). Задача оценки показателей надежности непараметрическим методом по многократно цензурированным выборкам включает точечную оценку показателей при количестве отказов $n > 5$. При $n < 5$ следует использовать нижние доверительные границы.

Метод позволяет определить точечные оценки вероятности безотказной работы за заданную наработку, среднюю и гамма-процентную наработку до отказа. Порядок определения перечисленных показателей следующий.

По выстроенному в порядке возрастания наработок до отказа $t_i, i = 1, \dots, n$ и в порядке убывания наработок до цензурирования $\tau_j, j = 1, \dots, m$ вариационному ряду, представленному на рис. П.3.4 приложения 3 в виде ранжированной временной диаграммы, определяется количество интервалов наблюдения $L: (0, t_1), (t_1, t_2), \dots, (t_{i-1}, t_i), \dots, (t_{L-1}, t_L)$.

Для каждого интервала наблюдений $(t_{i-1}, t_i) \in \overline{1, L}$ подсчитывают число наработок до отказа $\sum_{i=1}^l i = n_L$ и число наработок до цензурирования $\sum_{j=1}^{l-1} i = m_{L-1}$, лежащих между $L - 1$ и L интервалами наблюдений.

Совокупность этих значений должна удовлетворять условиям $\sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^l i = L \sum_{i=1}^L n_l = n$, $\sum_{l=2}^L \sum_{j=1}^l j = L \sum_{i=2}^L n_{l-1} = m$,

Общее число наблюдаемых изделий $N = n + m$. Если вариационный ряд начинается с наработки до отказа, то $m_0 = 0$, а если он заканчивается наработкой до отказа, то $m_L = 0$.

Вычисляют величину эквивалентного объема цензурированной выборки в каждом интервале наблюдений ($l = 1, \dots, L - 1$)

$$N_{\text{эл}l+1} = N_{\text{эл}l} \left[1 - \frac{m_l}{N - m_l - n_l} \right],$$

где: $N_{\text{эл}l} = N - m_0$.

Затем вычисляют эмпирическую функцию распределения, соответствующую каждой наработке до отказа в исходном вариационном ряду:

если i -я наработка до отказа принадлежит первому интервалу наблюдений, то

$$F_1^* = \frac{1 - m_0}{N_{\text{эл}1}}, \quad (3.14)$$

если i -я наработка до отказа принадлежит l -му ($l = 2, 1$) интервалу наблюдений, то

$$F_l^*(t_i) = \sum_{i=1}^{l-1} \frac{i}{N_{\text{эл}(l-1)}} + \frac{1 - \sum_{j=0}^{l-1} j - \sum_{i=1}^{l-1} i}{N_{\text{эл}l}}. \quad (3.15)$$

Расчет $F^*(t_i)$ удобно вести в табличной форме с шагом $i = 1$ до n .

Точечная оценка вероятности безотказной работы за заданную наработку t_3 при условии, что она меньше максимального наблюдаемого значения наработки до отказа T в вариационном ряду ($t_3 < \tau_{(N-mL)}$) ($t_3 < \tau_{(N-mL)}$), вычисляется по формуле

$$P^*(t_3) = 1 - [d_i F^*(t_i) + (1 - d_i F^*(t_{i-1}))],$$

$$\text{где } d_i = (t_3 - \tau_{(i-1)}) / (\tau_i - \tau_{(i-1)}),$$

$\tau_i, \tau_{(i-1)}$ — наработки до отказа, между которыми лежит наработка t_3 .

Точечную оценку средней наработки до отказа вычисляют по формуле:

$$T^* = \sum_{i=1}^L \frac{\sum_{i=v_1+1}^{\vartheta_1} \tau_i}{N_{\text{эл}}} + [1 - F^*(t_{N-mL})],$$

$$v_1 = m_0 + n_{l-1} + m_{l-1} = m_0 \sum_{i=1}^{l-1} i + \sum_{j=0}^{l-1} j,$$

где

$$\vartheta_1 = v_1 + n_l = m_0 + n_{l-1} + m_{l-1} + n_l$$

Точечную оценку гамма-процентной наработки до отказа T_γ^* вычисляют по формуле:

$$T_\gamma^* = (1 - d_2) \tau_{i-1} + d_2 \tau_i,$$

$$T^*\gamma = (1-d_2) \tau_{i-1} + d_2 \tau_i,$$

где: τ_{i-1}, τ_i — наработки до отказа, для которых выполняется условие:

$$F^*(\tau_{i-1}) < \gamma/100 < F^*(\tau_i),$$

а d_2 вычисляют по формуле:

$$d_2 = \frac{\frac{100 - \gamma}{100} - F^*(\tau_{i-1})}{F^*(\tau_i) - F^*(\tau_{i-1})}.$$

Если выполнено одно из условий

$$1 - \gamma/100 = F^*(\tau_{i-1}) \text{ или } 1 - \gamma/100 = F^*(\tau_i)$$

то $T^*\gamma = \tau_{i-1}$ или соответственно $T^*\gamma = \tau_i$.

Приближенные значения доверительных границ вероятности безотказной работы для доверительной вероятности α вычисляют по формулам:

$$P_H(t) = P^*(t_3) - U_\beta \sigma_i,$$

$$P_B(t) = P^*(t_3) + U_\beta \sigma_i,$$

$$\sigma_i = [1 - F^*(t_{i-1})] \sqrt{\frac{1 - \vartheta_i}{(N - \nu_i)(N - \vartheta_i)}},$$

где U_β — квантиль нормального распределения, соответствующий вероятности β ,

$$\beta = \begin{cases} \alpha & \text{— при вычислении односторонней доверительной границы} \\ (1 - \alpha)/2 & \text{— при вычислении двухсторонней доверительной границы} \end{cases}$$

Пример определения оценок показателей надежности невосстанавливаемых изделий непараметрическим методом по цензурированным данным приведен в приложении 4 (пример П.4.3).

3). Оценка показателей долговечности изделий.

а) определить средний ресурс $T_{p \text{ ср}}$

$$T_{p \text{ ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i^{(c)} \Delta n_i, \quad (3.16)$$

где $t_i^{(c)}$ — среднее значение наработки в i -м интервале,

Δn_i — количество изделий в i -м интервале,

N — количество изделий.

б) определить гамма-процентный ресурс $T_{p\gamma}$

$$T_{p\gamma} = T_{p \text{ ср}} \left(- \ln \frac{\gamma}{100} \right), \quad (3.17)$$

γ — заданная вероятность, выраженная в процентах, с которой объект в течение наработки $T_{p\gamma}$ не достигает предельного состояния

4). Оценка показателей сохраняемости.

а) определить средний срок хранения $T_{c \text{ ср}}$;

$$T_{c \text{ ср}} = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^N t_{ci}^{(c)} \Delta n_i, \quad (3.18)$$

где $t_{ci}^{(c)}$ — средний срок хранения изделий в i -м интервале

Δn_i — количество изделий на хранении в интервале

N_c — общее количество изделий на хранении.

б) определить гамма-процентный срок хранения $T_{c\gamma}$

$$T_{c\gamma} = T_{c\text{ср}} \left(-\ln \frac{\gamma}{100} \right), \quad (3.19)$$

где γ - вероятность достижения гамма-процентного срока хранения, выраженная в процентах.

3.3.4. Статистический анализ надежности восстанавливаемых изделий

1). Статистический анализ безотказности восстанавливаемых изделий проводится на основе оценки показателей безотказности и инженерного анализа физики отказов. На основе данных эксплуатационных наблюдений (своего варианта) строится временная диаграмма для всех самолетов (системы СКВ) рассматриваемого парка (рис. П.4.2 приложения 4). Причем очень важно, чтобы для каждого изделия $I = 1, \dots, N$ была определена наработка до рассматриваемого момента T , независимо от того, были или нет отказы этого изделия. На временной диаграмме отмечаются наработки до отказов и наработки до цензурирования по табл. П.1.1 приложения 1. В зависимости от количества отказов проводится выбор величины и числа интервалов наработки (рекомендуется не делать интервалы без отказов). Затем временная диаграмма разбивается на интервалы (рис. П.4.2 приложения 4). По интервалам производится расчет статистической оценки параметра потока отказов $\omega^*(t)$ по формуле:

$$\omega_i^*(t) = \frac{\Delta n_i}{N_i \Delta t_i},$$

где: Δn_i — число отказавших изделий в i -м интервале,

N_i - число наблюдаемых изделий в i -м интервале,

Δt_i - интервал наработки изделий.

С учетом переменного парка N_i определяется как общее число всех реализаций на диаграмме (рис. П.4.2 приложения 4) за исключением неполных реализаций меньших по величине левой границы i -го интервала, т.е. границы i . Результаты расчетов $\omega_i^*(t)$ сводятся в табл. 3.2 и представляются в виде гистограммы.

По гистограмме $\omega_i^*(t)$ определяется величина $\omega(t)$ путем выравнивания методом наименьших квадратов. Обычно ограничиваются линейной зависимостью параметра потока отказов по наработке

$$\omega_i(t) = \alpha + \beta t,$$

где

$$\alpha_H = \sum_{i=1}^L \gamma_i \omega_i^* - \beta_i \sum_{i=1}^L \gamma_i t_i^{(c)},$$

$$\beta_H = \frac{\sum_{i=1}^L \gamma_i t_i^{(c)} \omega_i^* - (\sum_{i=1}^L \gamma_i \omega_i^*) (\sum_{i=1}^L \gamma_i t_i^{(c)})}{\sum_{i=1}^L \gamma_i (t_i^{(c)})^2 - (\sum_{i=1}^L \gamma_i t_i^{(c)})^2},$$

L - количество интервалов гистограммы,

$t_{i \text{ ср}} = \frac{t_i^1 + t_{i+1}^1}{2}$ - середина i -го интервала, γ_i - "вес" i -го наблюдения
 $\sum_{i=1}^L \gamma_i = 1$ При всех равнооточных наблюдениях принимается $\gamma_i = 1/L$.

По величине параметра потока отказов определяется вероятность безотказной работы за интервал наработки (t_0, t) , который для восстанавливаемых изделий обычно равен периодичности технического обслуживания изделий — $t_{\text{пр}} = 300$ ч и $t_{\text{пр}} = 900$ ч

$$P(t_{\text{пр}}) = e^{-(\alpha + \frac{\beta}{2} t_{\text{пр}}) t_{\text{пр}}},$$

проводится расчет и строится график вероятности безотказной работы $P(t_{\text{пр}})$ для восстанавливаемых изделий (рис. П.4.3 приложения 4).

3.3.5. Оценка показателей ремонтпригодности восстанавливаемых изделий по данным эксплуатационных наблюдений (табл. П.1.2 приложения 1)

а) определить вероятность восстановления $P(t_{\text{в}})$

$$P(t_{\text{в}}) = \frac{n(t_{\text{в}} < t_{\text{зад}})}{N_{\text{в}}},$$

где $t_{\text{в}}$ — время восстановления i -го объекта; $N_{\text{в}}$ — количество фиксированных временем восстановлений объекта за установленный период наблюдения; $n(t_{\text{в}} < t_{\text{зад}})$ — количество раз, когда время восстановления превышает заданное время восстановления объекта за установленный период времени.

б) определить среднее время восстановления $t_{\text{в ср}}$

$$t_{\text{в ср}} = \frac{1}{N_{\text{в}}} \sum_{i=1}^N t_{\text{в}i}^{(c)} \Delta n_i,$$

где $t_{\text{в}i}^{(c)}$ — среднее время восстановления в i -м интервале,

Δn_i — количество восстановлений изделий в i -м интервале

$N_{\text{в}}$ — общее количество восстановлений изделий.

3.3.6. Оценка комплексных показателей надежности по данным эксплуатационных наблюдений (табл. П.1.1 и табл. П.1.2 приложения 1)

а) определить коэффициент готовности $K_{\text{г}}$;

$$K_{\text{г}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N T_{\text{раб}}} = \frac{T_{\text{ср}}}{T_{\text{ср}} + t_{\text{в ср}}},$$

где t_i — время пребывания изделия в работоспособном состоянии,

N — количество изделий,

$T_{\text{раб}}$ — продолжительность эксплуатации изделия,

$T_{\text{ср}}$ — средняя наработка изделия до отказа,

$t_{\text{в ср}}$ — среднее время восстановления изделия.

б) определить коэффициент оперативной готовности $K_{\text{ог}}$;

$$K_{\text{ог}} = K_{\text{г}} P(t),$$

где при экспоненциальном распределении наработки до отказа

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

в) определить удельную трудоемкость технического обслуживания и ремонта $\tau_{уд}$

$$\tau_{уд} = \frac{\sum_{i=0}^N \tau_{i_{то}}^{(c)} \Delta n_{Hi} + \sum_{j=0}^M \tau_{j_{в}}^{(c)} \Delta n_j}{H},$$

где $\tau_{i_{то}}^{(c)}$ - средняя трудоемкость технического обслуживания в i -м интервале,

Δn_i - количество технических обслуживаний в i -м интервале,

$\tau_{j_{в}}^{(c)}$ - средняя трудоемкость восстановлений в j -м интервале,

Δn_j - количество восстановлений в j -м интервале,

H - налет за рассматриваемый период календарного времени.

3.3.7. Расчет показателей надежности функциональной системы ЛА

Расчет показателей надежности состоит в определении вероятности безотказной работы СКВ самолетов Ил-62, Ту-154, Як-40 $P(t = 2ч)$ и $P(t = 300ч)$.

Расчет выполнить двумя методами: методом структурных схем и методом логических схем. Полученные независимые результаты расчетов должны совпадать

Таблица 3.2

Параметр потока отказов $\omega_i^*(t)$

Основные параметры	Интервалы						
	1	2	3	...	i	...	L
	$t_1 - t_0$ $t_0 - t_1$	$t_2 - t_1$	$t_3 - t_2$...	$t_{i+1} - t_i$...	$t_{L+1} - t_L$
$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$	Δt_1	Δt_2	Δt_3	...	Δt_i	...	Δt_L
N_i	N_1	N_2	N_3	...	N_i	...	N_L
Δn_i	Δn_1	Δn_2	Δn_3	...	Δn_i	...	Δn_L
$\omega_i^*(t)$	$\omega_1^*(t)$	$\omega_2^*(t)$	$\omega_3^*(t)$...	$\omega_i^*(t)$...	$\omega_L^*(t)$

Описание построения структурной и логической схемы, а также методика расчета по [2, 3].

Исходными данными для расчета служат (приложение 2.2):

1) описание работы принципиальной схемы СКВ самолетов Ил-62, Ту-154, Як-40;

2) перечень изделий, входящих в СКВ самолетов Ил-62, Ту-154, Як-40; вероятности безотказной работы каждого изделия СКВ самолетов Ил-62, Ту-154, Як-40 для $t = 2$ ч и для

$t = 300$ ч в соответствии с техническим заданием на КР.

Результаты расчетов представить по форме табл. 3.3.

Результаты расчетов показателей надежности системы кондиционирования воздуха самолета (тип самолета)

Метод расчета	Вероятность безотказной работы	
	$t = 2$ ч	$t = 300$ ч
Структурных схем		
Логических схем		

Анализ надежности СКВ самолетов Ил-62, Ту-154, Як-40 на соответствие требованиям надежности при эксплуатации проводится сравнением расчетных значений показателей надежности системы в целом $P(t = 2 \text{ ч})$ и $P(t = 300 \text{ ч})$ и изделий $P_B(t_{\text{зад}})$ и $T_{\text{ср}}$ с нормативными значениями этих показателей. Анализ следует проводить по алгоритму (рис. П.4.4) для полученных расчетных значений показателей надежности. В выводах необходимо отметить, соответствует или нет рассматриваемая в КР СКВ и ее изделие требованиям надежности при эксплуатации, и в случае не соответствия предложить способы повышения надежности [1- 5]:

для обеспечения требований по безопасности полетов необходимы конструктивные доработки изделий с целью повышения их надежности или изменение принципиальной схемы ФС (использование резервных элементов);

для обеспечения требований по восстановлению изделий необходимо сокращение среднего времени восстановления за счет: повышения ремонтпригодности изделия; разработки приспособлений для выполнения восстановительных работ; повышения квалификации инженерно-технического персонала;

для обеспечения требований по долговечности изделий следует предложить способы повышения ресурса за счет конструктивных доработок изделия.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Исходные данные для вариантов заданий

Таблица П.1.1

Исходные данные для вариантов заданий по оценке показателей безотказности и долговечности изделий СКВ

№ варианта	Тип ВС	N_c	$n_{и}$	$t_{бп}$	Наименование и шифр изделия	Наработка до отказа, ч	Наработка до цензурирования m_i изделий, ч
1	2	3	4	5	6	7	8
0, 1	Ил-62	30	5	4,0	Турбохолодильник, 2280Т	570; 580; 595; 610; 640; 730; 735; 810; 870; 900; 1010; 1100; 1150; 1200; 1500; 2200	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 134$ $m_1 = 50$ по 900 $m_2 = 50$ по 1400 $m_3 = 34$ по 2500
2	Ил-62	30	4	4,0	Заслонка, 2574Т	920; 970; 1010; 1080; 1095; 1120; 1140; 1300; 1350; 1380; 1700; 1950; 2150; 2300; 2500; 2600	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 104$ $m_1 = 25$ по 1100 $m_2 = 40$ по 1500 $m_3 = 39$ по 2500
3	Ил-62	30	2	4,0	Обратный клапан, 2269Т	150; 155; 230; 245; 310; 320; 330; 335; 420; 475; 510; 520; 530; 565; 870	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 45$ $m_1 = 15$ по 400 $m_2 = 15$ по 550 $m_3 = 15$ по 900
4	Ил-62	30	1	4,0	Воздухо-воздушный радиатор, 2269Т	1010; 1025; 1030; 1210; 1308; 1350; 1470; 1520; 1580; 1670; 1810; 1950	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 18$ $m_1 = 6$ по 1200 $m_2 = 7$ по 1500 $m_3 = 5$ по 2000
5	Ил-62	30	2	4,0	Регулятор избыточного давления, 2940Т	1050; 1055; 1110; 1115; 1210; 1240; 1370; 1400; 1520; 1540; 1570; 1750; 1820; 1870; 1950	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 45$ $m_1 = 16$ по 1300 $m_2 = 18$ по 1700 $m_3 = 11$ по 2100
6	Ту-154	20	4	2,5	Обратный клапан, 4672	327; 395; 450; 470; 520; 535; 540; 570; 610; 620; 637; 780; 800; 950; 1000	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 65$ $m_1 = 25$ по 450 $m_2 = 20$ по 700 $m_3 = 20$ по 1100
7	Ту-154	20	3	2,5	Обратный клапан, 5102	310; 340; 355; 367; 420; 440; 470; 510; 533; 540; 570; 585; 670; 820; 900	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 45$ $m_1 = 15$ по 450 $m_2 = 20$ по 780 $m_3 = 10$ по 1000
8	Ту-154	20	6	2,5	Заслонка регулирующая, 5670	840; 845; 970; 1110; 1230; 1280; 1350; 1600; 1720; 1790; 1900; 2100; 2250; 2400; 2500	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 105$ $m_1 = 45$ по 420 $m_2 = 40$ по 1550 $m_3 = 20$ по 2600
9	Ту-154	20	5	2,5	Воздухо-воздушный радиатор, 4487Т	1025; 1110; 1180; 1250; 1275; 1280; 1310; 1340; 1405; 1560; 1720; 1880	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 88$ $m_1 = 28$ по 1200 $m_2 = 35$ по 1550 $m_3 = 25$ по 2100

Продолжение табл. П.1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
10	Ту-154	20	4	2,5	Фильтр-отстойник, 5701Т	1050; 1120; 1140; 1185; 1210; 1245; 1370; 1420; 1545; 1670; 2100; 2500	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 68$ $m_1 = 15$ по 1200 $m_2 = 25$ по 1450 $m_3 = 28$ по 2600
11	Ту-154	20	2	2,5	Регулятор избыточного давления, 4833	1310; 1340; 1370; 1450; 1520; 1615; 1700; 1810; 1825; 1900; 1940; 2000	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 28$ $m_1 = 8$ по 1340 $m_2 = 18$ по 1650 $m_3 = 2$ по 2200
12	Ту-154	20	1	2,5	Заслонка, 3161	560; 580; 610; 730; 870; 925; 1010; 1050; 1100; 1340; 1420; 1560; 2100; 2150; 2500	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 5$ $m_1 = 2$ по 1110 $m_2 = 2$ по 1540 $m_3 = 1$ по 2700
13	Як-40	15	2	1,3	Обратный клапан, 1327	125; 130; 185; 210; 230; 235; 240; 257; 310; 320; 345; 400; 470; 520; 710	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 15$ $m_1 = 5$ по 190 $m_2 = 5$ по 300 $m_3 = 5$ по 850
14	Як-40	15	4	1,3	Заслонка, 4064АТ	725; 780; 840; 890; 910; 915; 945; 980; 1025; 1038; 1200; 1310; 1820; 1950; 2400	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 45$ $m_1 = 15$ по 950 $m_2 = 15$ по 1300 $m_3 = 15$ по 2500
15	Як-40	15	3	1,3	Регулятор избыточного давления, 4608Т	1400; 1480; 1495; 1520; 1670; 1710; 1800; 1820; 1900 2100, 2400, 2700	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 33$ $m_1 = 11$ по 1600 $m_2 = 15$ по 1800 $m_3 = 7$ по 2900
16	Як-40	15	2	1,3	Турбохолодильник, 4608Т	1050; 1120; 1140; 1185; 1210; 1245; 1370; 1420; 1545; 1670; 2100; 2500	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 18$ $m_1 = 6$ по 1200 $m_2 = 7$ по 1500 $m_3 = 5$ по 2600
17	Як-40	15	1	1,3	Обратный клапан, 4488Т	370; 410; 425; 500; 560; 575; 582; 600; 610; 620; 655; 720;	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 3$ $m_1 = 1$ по 450 $m_2 = 1$ по 600 $m_3 = 1$ по 800
18	Як-40	15	4	1,3	Регулятор подачи воздуха	1400; 1480; 1495; 1520; 1670; 1710; 1800; 1820; 1900, 2100, 2500, 2800	$m = m_1 + m_1 + m_1 = 48$ $m_1 = 17$ по 1600 $m_2 = 16$ по 1900 $m_3 = 15$ по 3000

Таблица П.1.2

Исходные данные для вариантов заданий по оценке показателей ремонтпригодности, сохраняемости и комплексных показателей надежности изделий СКВ

№ вар.	Параметр	Время восстановления, ч N=110 $t_{зад}=2$ ч						Трудоемкость, чел.- ч						Время хранения, годы N=80											
								Технического обслуживания, N=75			Восстановления, N=65														
Все вар.	$t_i - t_{i+1}$	0-0,5	0,5-1	1-1,5	1,5-2	2-2,5	2,5-3	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18
0, 1	Δn_i	13	15	21	17	24	20	9	13	17	10	15	8	11	7	14	12	13	13	11	16	18	16	10	12
2	Δn_i	16	18	19	13	21	23	12	15	19	11	10	11	13	11	11	11	9	10	14	15	16	14	8	13
3	Δn_i	10	21	18	19	20	22	13	17	18	9	12	6	14	9	13	11	11	8	12	13	20	12	9	14
4	Δn_i	20	16	13	23	20	18	14	19	16	10	10	10	16	10	9	7	11	11	14	16	15	9	11	15
5	Δn_i	15	13	17	21	22	22	11	16	19	12	9	9	13	8	10	13	13	5	10	18	17	11	13	11
6	Δn_i	21	17	22	16	20	14	7	20	15	16	14	12	12	13	10	10	7	7	13	14	18	15	12	8
7	Δn_i	17	13	19	20	21	20	10	18	9	18	20	12	9	14	12	8	6	6	9	17	19	13	8	16
8	Δn_i	16	18	21	14	22	19	15	14	10	20	13	8	13	16	11	6	9	9	15	9	20	12	13	11
9	Δn_i	24	14	18	15	22	17	9	13	18	19	15	15	10	12	15	8	7	7	16	10	21	9	15	9
10	Δn_i	21	11	19	20	19	20	16	13	12	14	9	11	11	9	11	9	10	10	17	11	16	14	10	12
11	Δn_i	15	13	24	14	22	22	12	17	9	16	7	15	15	13	7	11	8	8	14	8	19	17	9	13
12	Δn_i	18	17	24	18	20	13	14	15	11	13	10	8	8	14	15	7	4	10	12	6	22	18	12	10
13	Δn_i	19	16	20	20	18	17	8	21	13	10	8	12	12	7	16	10	7	10	10	12	13	13	14	13
14	Δn_i	14	18	19	15	23	21	16	14	12	9	13	14	14	10	6	12	12	12	8	14	14	14	15	16
15	Δn_i	25	13	18	11	21	22	11	19	10	11	15	8	8	11	13	8	9	9	15	8	16	16	17	12
16	Δn_i	11	17	18	20	19	25	13	16	11	7	18	12	15	9	11	6	13	13	13	14	13	18	13	15
17	Δn_i	12	19	22	12	26	19	10	18	13	8	11	15	17	12	8	13	10	7	11	8	20	11	17	17
18	Δn_i	24	10	14	19	23	20	14	13	14	12	9	17	6	10	13	12	7	7	9	15	19	15	13	13

Принципиальные схемы СКВ
самолетов Ил-62, Ту-154, Як-40

Таблица П.2.1

Система кондиционирования воздуха самолета Ил-62

Позиции на схеме	Наименование агрегата	Тип агрегата	Количество на самолете
1, 3, 11, 9, 52, 54, 59, 61	Переключатель электромагнитный	4038Т	8
2, 10, 53, 60	Командный прибор	4211АТ	4
4, 16, 51, 65	ВВР предварительного охлаждения	2793АТ	4
5, 12, 55, 62	Задатчик расхода воздуха	2785Т	4
6, 13, 56, 63	Исполнительный механизм	4149АТ	4
7, 14, 38, 65	Термовыключатель	1374А-6	4
8, 15, 57, 64	Заслонка продувочного воздуха	4084Т	8
17, 18, 49, 50, 67	Заслонка	2574Т	5
19, 48	Исполнительный механизм	4149Т	4
21, 46	Клапан регулятора (2940Т)	2990Т	2
23, 44	Регулятор избыточного давления	2940Т	2
24, 43	ВВР охлаждения	2251АТ	2
25, 42	Командный прибор	1300ДТ	2
26, 41	ВВР обогрева	2217АТ	2
27, 40	Трехканальный блок заслонок	2235Т	2
28, 39	Датчик расхода воздуха	4061БТ	2
29, 38	Водоотделитель	2394Т	2
30, 37	Блок заслонок	2236Т	2
31, 36	Турбохолодильник	2280Т	2
32, 35	Блок обратных клапанов	2269Т	2
33, 34	Блок заслонок	1932Т	2
69, 70	Задвижка	1884Т	2
71, 72	Термовыключатель	1374А-4	2
68	Заслонка перекрывающая	4074Т	3

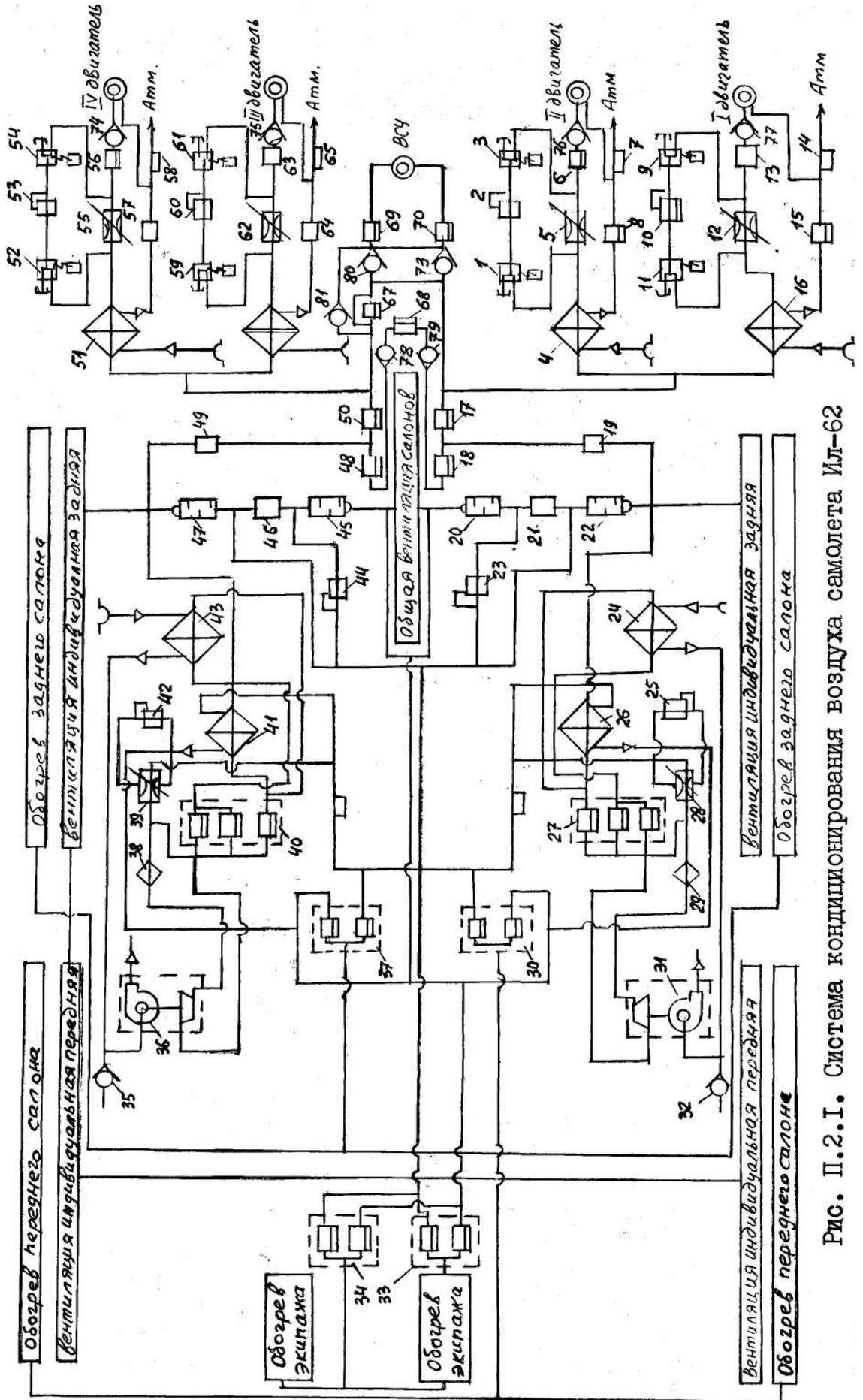


Рис. П.2.1. Система кондиционирования воздуха самолета Ил-62

Таблица П.2.2

Система кондиционирования воздуха самолета Ту-154

Позиции на схеме	Наименование агрегата	Тип агрегата	Количество на самолете
1, 21, 32	Обратный клапан	4672	3
2	Штуцер для подключения наземного кондиционера		1
3, 53, 55	Кран отбора воздуха от двигателей		3
4, 5, 54, 56, 57	Обратный клапан	5102	4
6	Первичный ВВР	4487Г	1
7, 46	Кран наддува	4602	2
8, 45	Заслонка ПСВП	5701Г-02	2
9, 44	Регулятор избыточного давления	4561	2
10, 43	Командный прибор ПСВП	5701Г-01	2
11, 42	Трубка Вентури 76×95		2
12, 41	Регулятор избыточного давления	4833	2
13, 18, 35, 40	Заслонка регулирующая	5670	4
15, 38	Обратный клапан	4488	2
16, 37, 47	Воздухозаборник		3
17, 36	Вторичный ВВР	4458	2
19, 34	Обратный клапан	4477	2
20, 33	Влагоотделитель	154. 04. 7613. 023	2
22, 24, 27, 28	Смеситель	154. 04. 7611. 003	4
23, 25, 26, 29	Заслонка регулирующая	1406Г	4
30	Регулятор избыточного давления	4833	1
31	Глушитель шума	154. 04. 7613. 044	1
48	Эжектор продува ВВР	4467Г	1
49	Заслонка	3161	2
50	Электроклапан	4073Г	1
51, 52	Обратный клапан	4656	2
Не показан	Фильтр-отстойник	5701Г-03	4

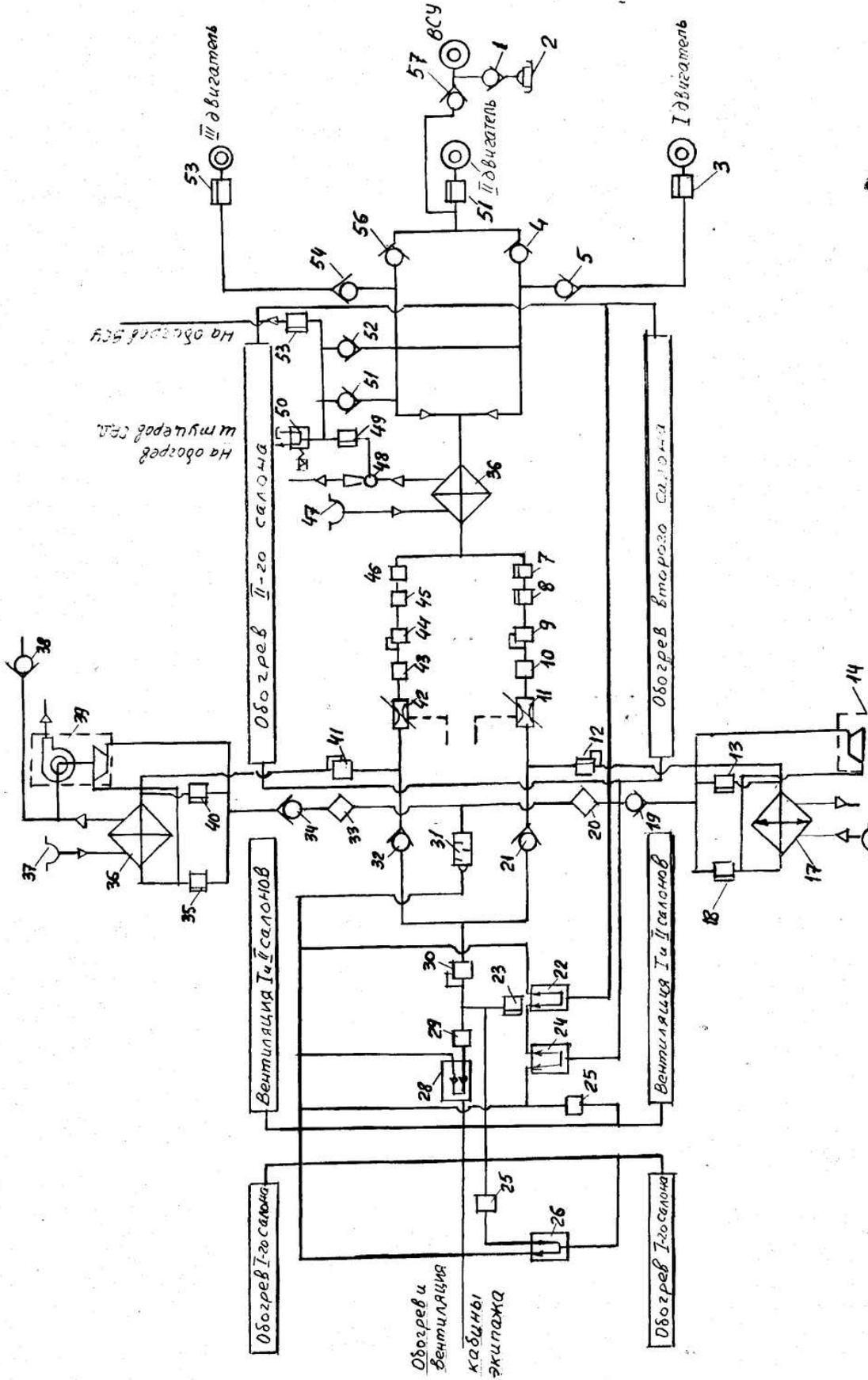


Рис. П.2.2. Система кондиционирования воздуха самолета Ту-154

Система кондиционирования воздуха самолета Як-40

Позиции на схеме	Наименование агрегата	Тип агрегата	Количество на самолете
1, 7, 26	Двигатели	АН-25	3
2, 8, 16, 17, 19, 25	Обратный клапан	1327	6
3	Заслонка	4064АТ	1
4	Регулятор избыточного давления	4608Т	1
5	Дроссельная заслонка	1293ЕТ	1
6	Датчик расхода воздуха	2344ВТ	1
9	Турбохолодильник	4629Т	1
10	Датчик температуры	П-1Т	1
11	Обратный клапан	4488Т	1
12	Регулятор подачи воздуха	1408Т	1
13	Трубка Вентури		1
14	Биметаллический ограничитель температуры	1362	1
15	Заслонка		1
18	Обратный клапан	4488Т	1
20	Блок управления	4827АТ	1
21	Блок заслонок	1932Т	1
22	ВВР	4603Т	1
23	Радиатор подогрева воздушного клапана среднего двигателя		1
24	Командный прибор	4211БТ	1

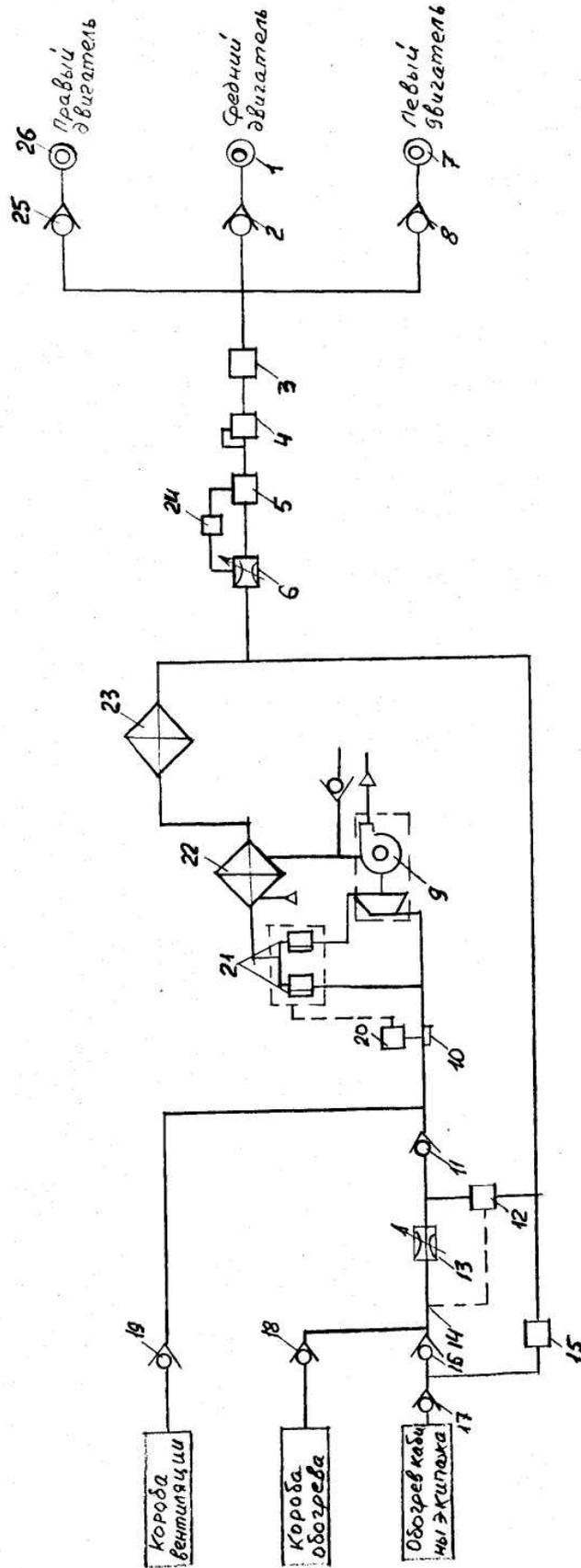


Рис. П.2.2.3. Система кондиционирования воздуха самолета Як-40

Оценка безотказности изделий параметрическим методом

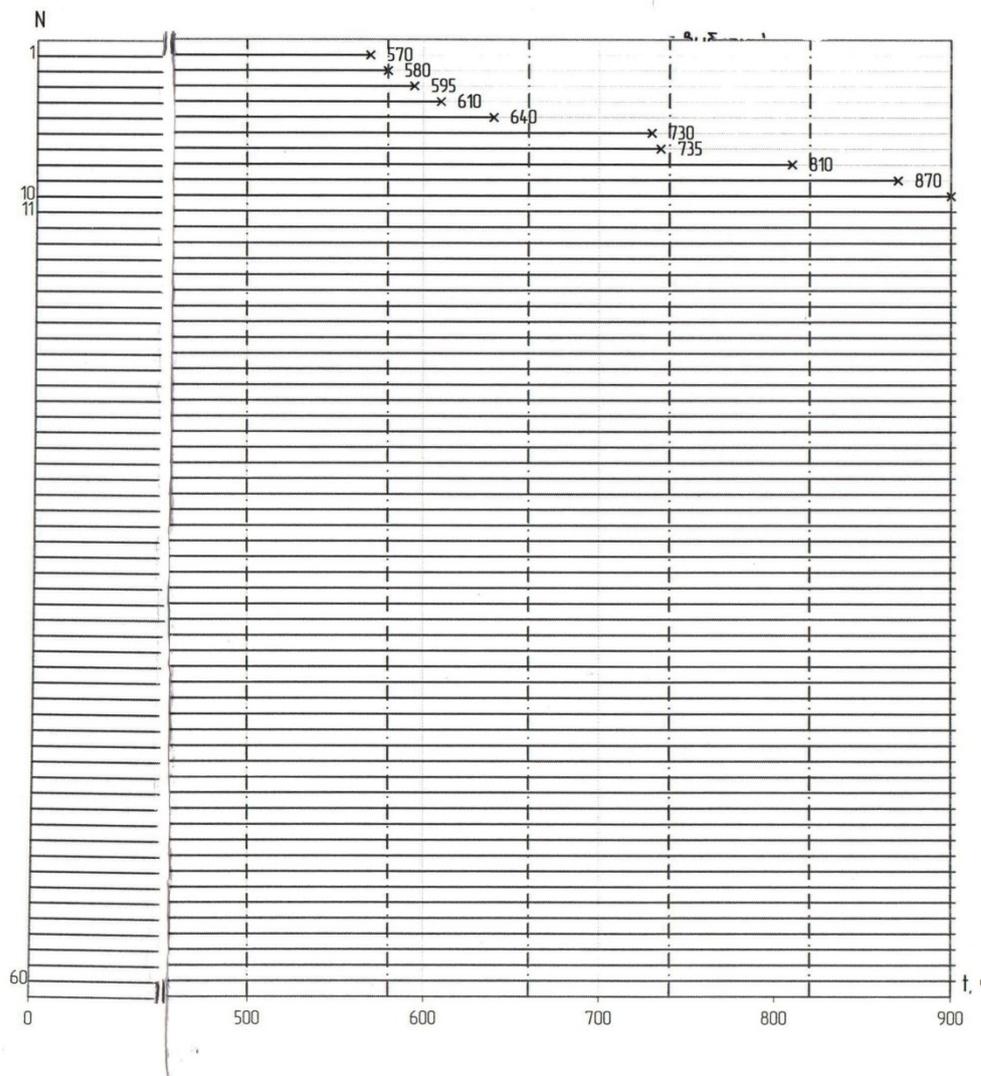


Рис. П.3.1. Ранжированная временная диаграмма наработок до отказа t ч, $i = 1, \dots, n$ и наработок до цензурирования $\tau_j, j = 1, \dots, m$ (однократно цензурированная выборка).

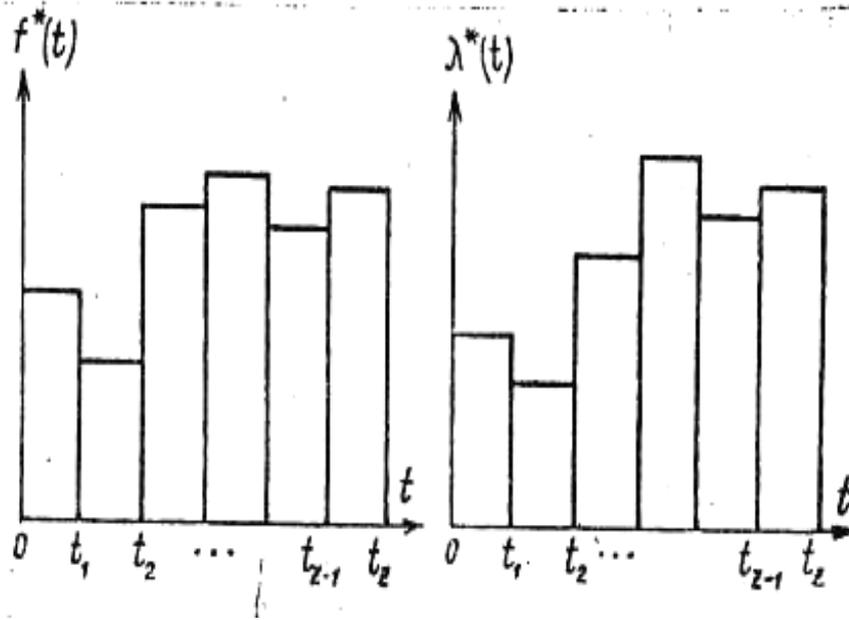


Рис. П.3.2. Гистограммы статистических оценок $f^*(t)$, $\lambda^*(t)$

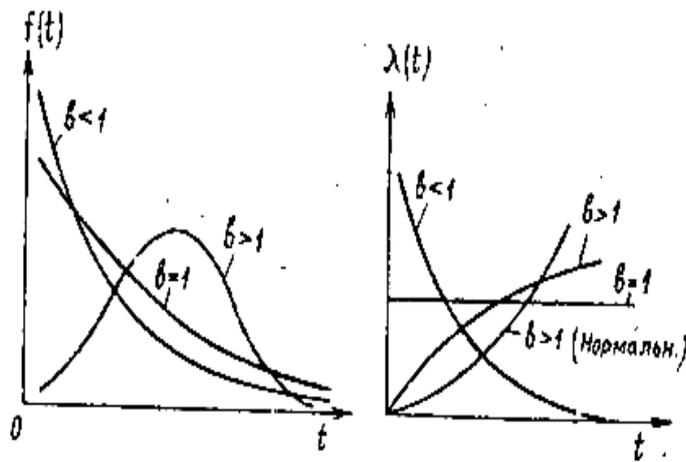


Рис. П.3.3. Теоретические зависимости $f(t)$, $\lambda(t)$ для различных законов распределения: экспоненциального ($b = 1$), нормального ($b > 1$), Вейбулла ($b < 1, b = 1, b > 1$)

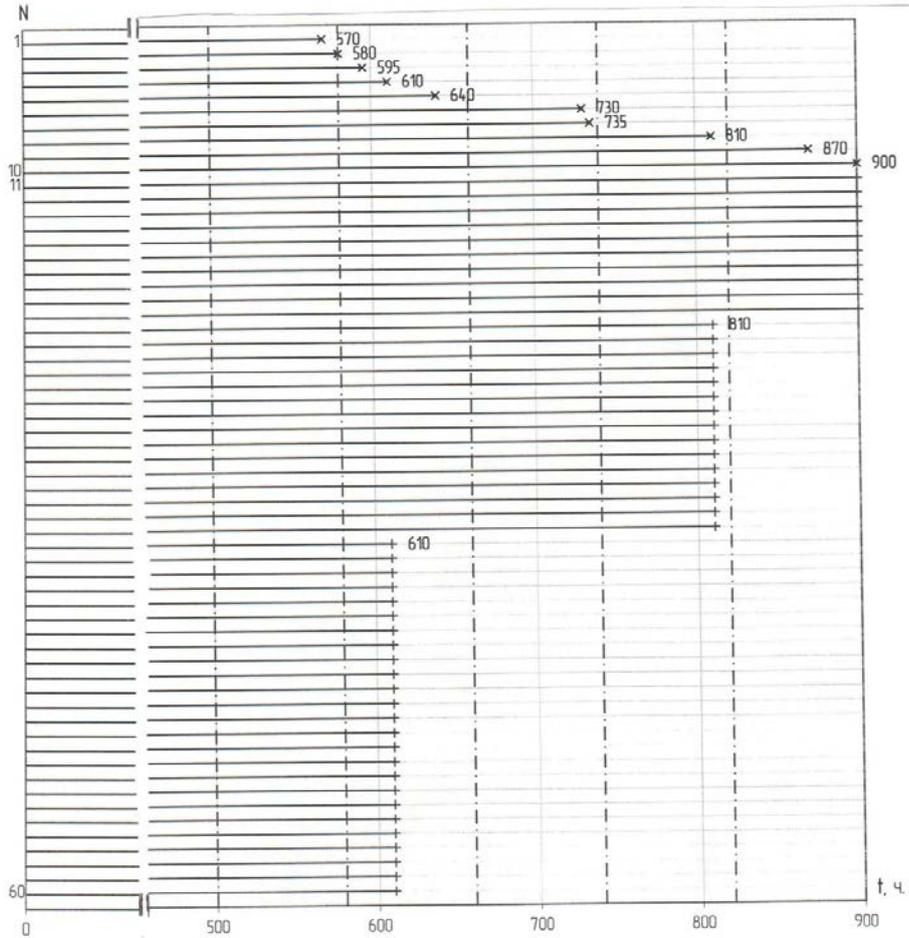


Рис. П.3.4. Ранжированная временная диаграмма наработок до отказа $t_{ч_i}$, $i = 1, n$, и наработок до цензурирования τ_j , $j = 1, m$ (многократно цензурированная выборка)

Таблица П. 3.1

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПО ПАРАМЕТРАМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Законы распределения плотности, $f(t)$	Средняя наработка до отказа, $T_{ср}$	Вероятность безотказной работы, $P(t)$	Интенсивность отказа, $\lambda(t)$	Гамма-процентная наработка, T_γ
Экспоненциальный $\lambda e^{-\lambda t}$	$1/\lambda$	$e^{-\lambda t}$	λ	$\frac{1}{\lambda} (\ln \frac{\delta}{100})$
Вейбулла $\frac{b}{a} (\frac{t}{a})^{b-1} \cdot e^{-\frac{t}{a}^b}$	$a \Gamma(1 + \frac{1}{b})$	$e^{-\frac{1}{a} t^b}$	$\frac{b}{a} \cdot t^{b-1}$	$a (\ln \frac{\delta}{100})^{\frac{1}{b}}$
Нормальный $\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}}$	a	$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \times \Phi(\frac{t-a}{\sigma})$	$\frac{1}{\sigma^2} \cdot f_c(\frac{t-a}{\sigma})$ $\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi(\frac{t-a}{\sigma})$	$\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi(\frac{t-a}{\sigma}) = \frac{\delta}{100}$

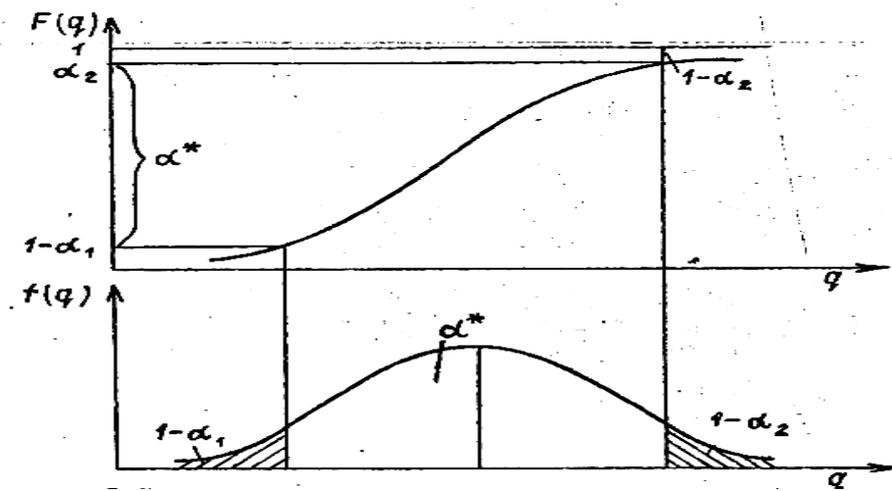


Рис. П.3.5. Определение доверительных границ

Примеры оценок показателей безотказности изделий непараметрическим методом

Пример П.4.1. При испытании $N = 100$ невосстанавливаемых изделий получено $n = 10$ отказов. Найти доверительные границы для вероятности безотказной работы P при $\alpha = 0,95$, где α - доверительная вероятность.

По табл. П.5.5, П.5.6 приложения 4 для $n = 10$ и $n/N = 0,1$ находим $R_1 = 1,81$ $R_2 = 0,61$.

По уравнениям (4.13) находим

$$q_H = \frac{n}{NR_1} = \frac{10}{100 \cdot 1,81} = 0,055,$$

$$q_B = \frac{n}{NR_2} = \frac{10}{100 \cdot 0,61} = 0,164.$$

Для вероятности безотказной работы

$$P = 1 - 0,1 = 0,9,$$

$$P_H = 1 - q_B = 1 - 0,164 = 0,836,$$

$$P_B = 1 - q_H = 1 - 0,055 = 0,945.$$

Пример П.4.2. При испытании $N = 100$ невосстанавливаемых изделий не получено ни одного отказа. Найти доверительные границы для вероятности безотказной работы при $\alpha = 0,95$. По табл. П.5.4 приложения 5 для доверительной вероятности $\alpha = 0,95$, $n = 0$, $N = 100$

находим $R_0 = 2,28$. По уравнению (4.12) для вероятности отказа получим $q_H = 0$;

$$q_B = \frac{R_0}{N} = \frac{2,28}{100} = 0,0228.$$

Для вероятности безотказной работы будем иметь

$$P = 1 - 0 = 1,$$

$$P_H = 1 - q_B = 0,977,$$

$$P_B = 1 - q_H = 1.$$

Пример П.4.3. В результате обработки данных по надежности изделий функциональной системы самолетов, эксплуатирующихся по состоянию, были сформированы цензурированные данные 50 изделий.

Наработки до отказа ($n = 23$): 2292, 5440, 880, 2996, 1711, 14610, 10806, 4652, 1638, 1287, 2850, 4830, 2700, 755, 3438, 581, 1904, 23289, 12036, 8550, 742, 1064, 2640 ч.

Наработки до цензурирования ($m = 27$): 25 изделий были сняты с наблюдения при наработке 3600 ч., а 2 изделия при наработке 25000 ч.

Для внедрения прогрессивного метода эксплуатации изделий на всем парке самолетов требуется оценить показатели надежности.

1) Строим вариационный ряд или ранжированную временную диаграмму наработок до отказа $\tau_i, i = 1, \dots, n$ и цензурирования $t_j, j = 1, \dots, m$,

581, 742, 755, 880, 1064, 1287, 1638, 1711, 1904, 2292, 2640, 2700, 2850, 2996, 3438, 3600(25), 4652, 4830, 5440, 8550, 10806, 12036, 14610, 23289, 25000 (2).

2) По вариационному ряду (ранжированной временной диаграмме) определяем интервалы наблюдения ($l = 2$)

$$(0, \tau_{15}) \rightarrow (0; 3438),$$

$$(\tau_{16}, \tau_{23}) \rightarrow (3438; 23289),$$

Для каждого интервала наблюдения определяем

$$n_1 = 15, m_0 = 0, m_2 = 2,$$

$$n_2 = 8,$$

$$N_{\varepsilon 1} = N - n_0 = 50,$$

$$N_{\varepsilon 2} = N_{\varepsilon 1} \left[1 - \frac{m_1}{N - m_0 - n_1} \right] = 50 \left[1 - \frac{25}{50 - 15} \right] 14,286.$$

3). Определяем значения эмпирической функции распределения $F^*(t)$ по (4.14) или (4.15).

Таблица П. 4.1

Значения функции распределения $F^*(t_i)$

I	$F^*(t_i)$	I	$F^*(t_i)$	I	$F^*(t_i)$	I	$F^*(t_i)$	I	$F^*(t_i)$
1	0,02	6	0,12	11	0,22	41	0,37	4	0,72
2	0,04	7	0,14	12	0,24	42	0,43	4	0,79
3	0,06	8	0,16	13	0,26	43	0,51	4	0,86
4	0,08	9	0,18	14	0,28	44	0,58		
5	0,10	10	0,20	15	0,30	45	0,65		

4). Определим точечные оценки вероятности безотказной работы за 5000, 10000 и 20000 ч.

Заданные наработки:

$$t_3^1 = 5000 \text{ ч, } I=43, \tau_i = 5440 \text{ ч, } \tau_{i-1} = 4830 \text{ ч;}$$

$$P^*(5000) = 1 - [d_i F^*(t_i) + (1 - d_i) F^*(t_{i-1})] = 1 - (0,279 * 0,151 + 0,721 * 0,43) = 0,55$$

$$P^*(10000) = 1 - (0,567 * 0,65 + 0,433 * 0,58) = 0,38,$$

$$t_3^3 = 20000 \text{ ч, } I=48, \tau_i = 23289 \text{ ч, } \tau_{i-1} = 14610 \text{ ч;}$$

$$d_i = (t_3^1 - \tau_{i-1}) / (\tau_i - \tau_{i-1}) = (20000 - 14610) / (23289 - 14610) = 0,621,$$

$$P^*(20000) = 1 - (0,621 * 0,86 + 0,379 * 0,79) = 0,16.$$

5) Определим среднюю наработку до отказа

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{15} \tau_i}{50} + \frac{\sum_{i=41}^{48} \tau_i}{50} + (1 - 0,86) \tau_{48} = \frac{27478}{50} + \frac{84213}{14,286} + 0,14 * 23289 = 9705 \text{ ч.}$$

6) Вычисление 95% - й наработки до отказа показывает, что она лежит между вторым и третьим членами вариационного ряда (таб. П.4.1), т.е. $F^*(t_i) = 0,05$, следовательно, $i = 3$, $F^*(t_{i-1}) = 0,04$,

$$d_2 = ((100 - \gamma)/100 - F^*(\tau_{i-1})/F^*(\tau_i) - F^*(\tau_{i-1})) \\ = (0,05 - 0,04)/0,02 = 0,5.$$

$$F^*(t_i) = 0,06, \tau_{i-1} = 742, \tau_i = 755,$$

$$T^*_{\gamma} = (1 - d_2) \tau_i + d_2 \tau_{i-1} = 0,5 \cdot 742 + 0,5 \cdot 755 = 748,5 \text{ ч.}$$

7) Доверительный интервал для значений вероятностей безотказной работы $P^*(t_3)$ оценим, задавшись доверительной вероятностью $\beta = 0,95$. $t_3 = 5000$ ч, $I - 1 = 42$, $I = 43$, $l = 2$

$$t_3^1 = 5000 \text{ ч; } I - 1 = 42; \quad I = 43; \quad l = 2, \text{ во втором интервале: } v = 23, \acute{u} = 25,$$

$$\sigma_i = [1 - 0,43] \sqrt{18/25 * 27} = 0,57 * 0,14 = 0,08,$$

Для $\beta = 0,95$ (односторонние доверительные границы) $U'_\beta = 1,645$;

$$P_H = P^*(t_3) - U'_\beta \sigma_i = 0,55 - 1,645 * 0,08 = 0,42$$

$$P_B = P^*(t_3) + U'_\beta \sigma_i = 0,55 + 1,645 * 0,08 = 0,68$$

$$t_3 = 10000 \text{ ч, } I - 1 = 44, I = 48, l = 2$$

$$\sigma_i = [1 - 0,58] \sqrt{23/25 * 27} = 0,06,$$

$$P_H = 0,38 - 1,645 * 0,06 = 0,282,$$

$$P_B = 0,38 + 1,645 * 0,06 = 0,478,$$

$$t_3 = 20000 \text{ ч, } I - 1 = 47, I = 48, l = 2$$

$$\sigma_i = [1 - 0,86] \sqrt{23/25 * 27} = 0,02,$$

$$P_H = 0,16 - 1,645 * 0,02 = 0,128, \quad P_B = 0,16 + 1,645 * 0,02 = 0,192$$

Результаты оценки приведены на рис. П. 4.1.

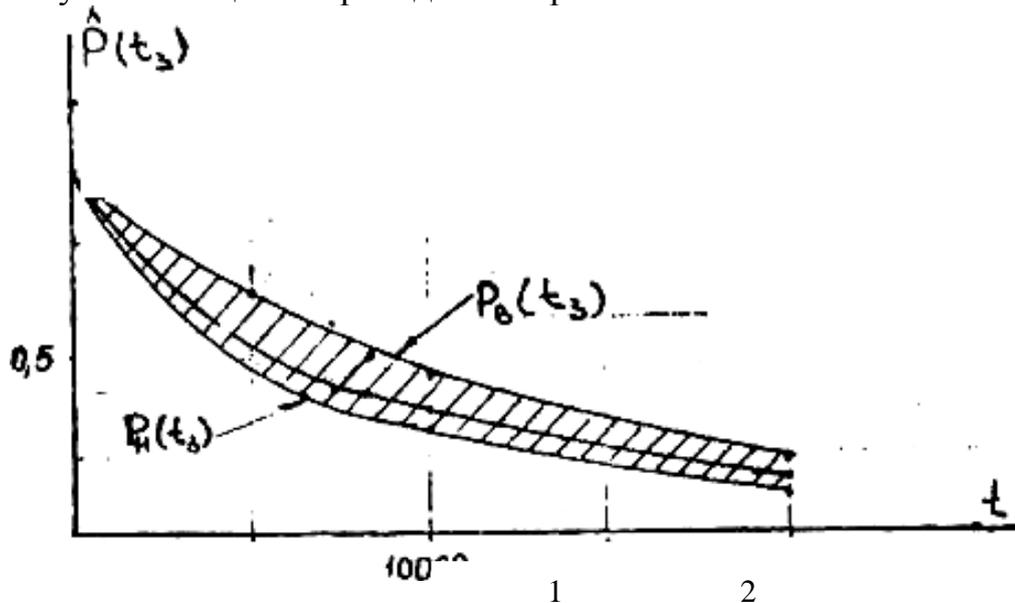
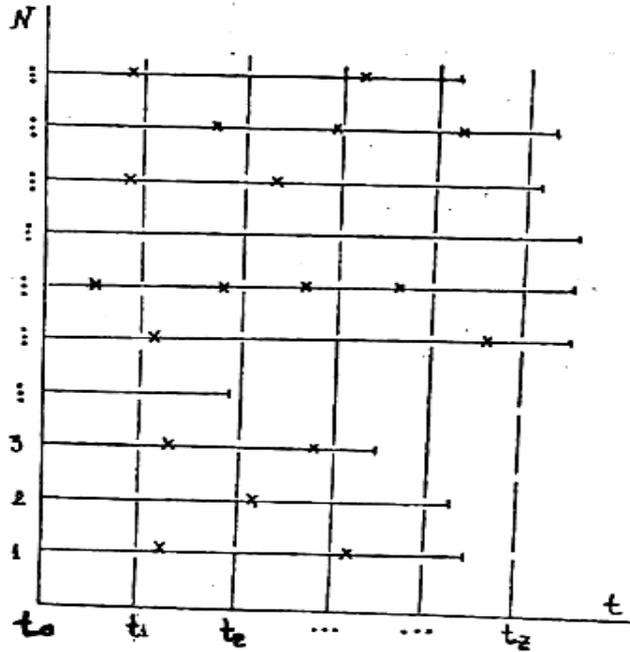


Рис. П.4.1. Оценка доверительных интервалов $P(t_3)$

Вывод.

Из-за низкой надежности ($P^*(t=10000) < 0,3$ после наработки 10000ч гидравлические фильтры эксплуатировать нецелесообразно.

Значение средней наработки до отказа T^* показывает целесообразность замены изделий на I-ю категорию с периодичностью в 9705 ч.



– число однотипных изделий на самолете

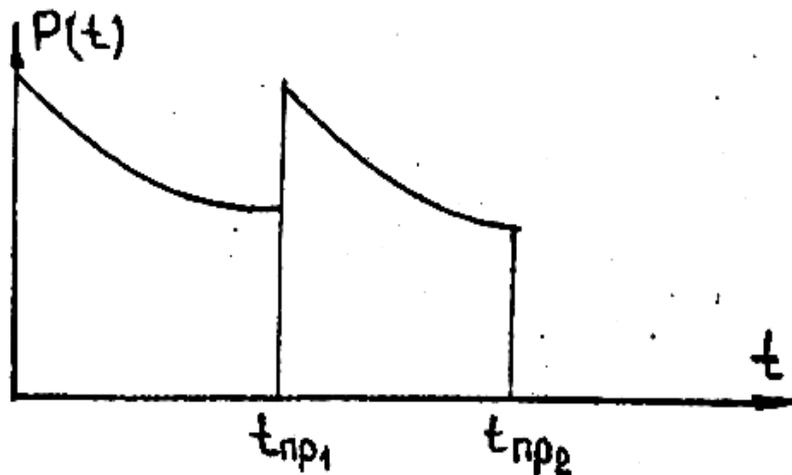


Рис. П.4.3. График $P(t)$ для восстанавливаемых изделий

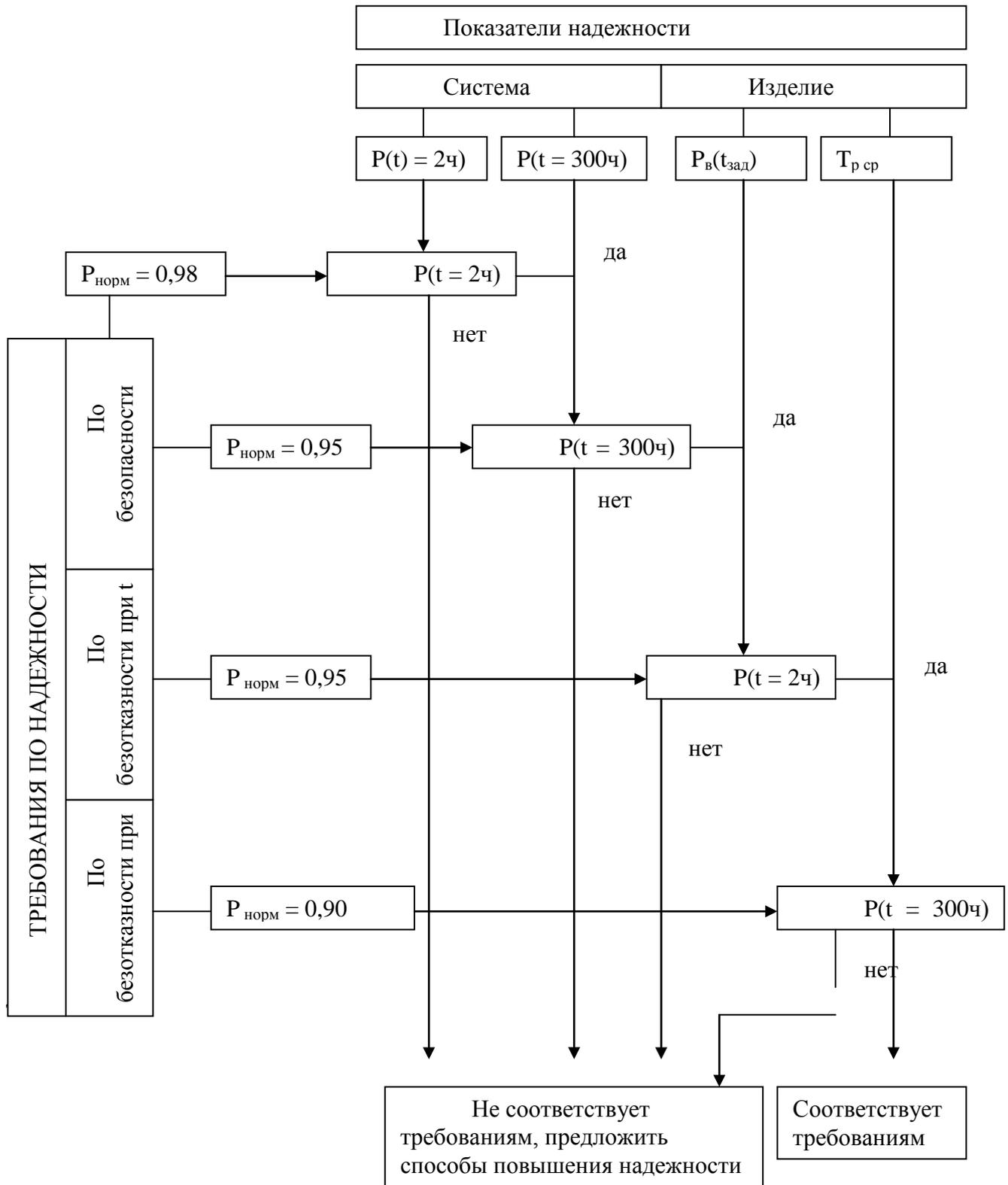


Рис. П. 4.4. Алгоритм анализа надежности СКВ самолета и ее изделий на соответствие требованиям надежности при эксплуатации

Таблицы характеристик распределения случайных величин

Таблица П. 5.1

Функция стандартного нормального распределения $F_0(X)$

X		0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0	5000	5040	5080	5120	5160	5199	5239	5279	5319
0.1	0	5398	5438	5478	5517	5557	5596	5636	5675	5714
0.2	0	5793	5832	5871	5910	5948	5987	6026	6064	6103
0.3	0	6179	6217	6255	6293	6331	6368	6406	6443	6480
0.4	0	6554	6591	6628	6664	6700	6736	6772	6808	6844
0.5	0	6915	6950	6985	7019	7054	7088	7123	7157	7190
0.6	0	7257	7291	7324	7357	7389	7422	7454	7486	7517
0.7	0	7580	7611	7642	7673	7704	7344	7764	7794	7823
0.8	0	7881	7910	7939	7967	7995	8023	8051	8078	8106
0.9	0	8159	8186	8212	8238	8264	8289	8315	8340	8365
1	0	8413	8438	8461	8485	8508	8531	8554	8577	8599
1.1	0	8643	8665	8686	8708	8729	8749	8770	8790	8810
1.2	0	8849	8869	8888	8907	8925	8944	8962	8980	8997
1.3	0.9	0320	0490	0658	0824	0988	1149	1308	1466	1621
1.4	0.9	1924	2073	2220	2364	2507	2647	2785	2922	3056
1.5	0.9	3319	3448	3574	3699	3822	3943	4062	4179	4295
1.6	0.9	4520	4630	4738	4845	4950	5053	5154	5254	5352
1.7	0.9	5543	5637	5728	5818	5907	5994	6080	6164	6246
1.8	0.9	6407	6485	6562	6637	6712	6784	6856	6926	6995
1.9	0.9	7128	7193	7257	7320	7381	7441	7500	7558	7615
2	0.9	7725	7778	7831	7882	7932	7982	8030	8077	8124
2.1	0.9	8214	8257	8300	8341	8382	8422	8461	8500	8537
2.2	0.9	8610	8645	8679	8713	8745	8778	8809	8840	8870
2.3	0.9	8928	8956	8983	9010	9036	9061	9086	9111	9134
2.4	0.99	1802	2024	2240	2451	2656	2857	3053	3244	3431
2.5	0.99	3790	3963	4132	4297	4457	4614	4766	4915	5060
2.6	0.99	5339	5473	5603	5731	5855	5975	6093	6207	6319
2.7	0.99	6533	6636	6736	6833	6928	7020	7110	7197	7282
2.8	0.99	7445	7523	7599	7673	7744	7814	7882	7948	8012
2.9	0.99	8134	8193	8250	8305	8359	8411	8462	8511	8559
3	0.99	8650	8694	8736	8777	8817	8856	8893	8930	8965
3.0	0.99	8650	8694	8736	8777	8817	8856	8893	8965	8999
3.1	0.93	0324	0646	0957	1260	1553	1836	2112	2636	2886
3.2	0.93	3129	3363	3590	3810	4024	4230	4429	4810	4991
3.3	0.93	5166	5335	5499	5658	5811	5959	6103	6376	6505
3.4	0.93	6631	6752	6869	6982	7091	7197	7299	7493	7585
3.5	0.93	7674	7760	7842	7922	7999	8074	8146	8282	8347
3.6	0.93	8409	8469	8527	8583	8637	8689	8739	8834	8879
3.7	0.93	8922	8964	9004	9043	9080	9116	9150	9216	9247

Таблица П.5.2

Плотность стандартного нормального распределения $f(x)$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	z
0,0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973	0,0
0,1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918	0,1
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825	0,2
0,3	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697	0,3
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538	0,4
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352	0,5
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144	0,6
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2965	2943	2920	0,7
0,8	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685	0,8
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444	0,9
1,0	0,2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203	1,0
1,1	2179	2355	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965	1,1
1,2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736	1,2
1,3	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518	1,3
1,4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315	1,4
1,5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127	1,5
1,6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957	1,6
1,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804	1,7
1,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669	1,8
1,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0573	0562	0551	1,9
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449	2,0
2,1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0388	0379	0371	0363	2,1
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290	2,2
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0235	0229	2,3
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180	2,4
2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139	2,5
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107	2,6
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081	2,7
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0059	0067	0065	0063	0061	2,8
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047	0046	2,9
3,0	0,0044	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034	3,0
3,1	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0029	0025	0025	3,1
3,2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018	0018	3,2
3,3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013	3,3
3,4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009	0009	3,4
3,5	0009	0009	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007	0006	3,5
3,6	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0004	3,6
3,7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003	0003	0003	3,7
3,8	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002	3,8
3,9	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001	3,9

Таблица П. 5.3

Коэффициенты для распределения Вейбулла

b	K _b	C _b	ϑ
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	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	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	0.886	0.463	0.523
2.1	0.886	0.441	0.489
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	0.893	0.326	0.365
3.5	0.900	0.285	0.316
4	0.906	0.255	0.281

$$m_t^* = a K_b, \sigma_t = a C_b$$

Квантили χ^2 - распределение

Число степеней свободы	$\chi_{0,1}^2$	$\chi_{0,3}^2$	$\chi_{0,5}^2$	$\chi_{0,7}^2$	$\chi_{0,9}^2$	$\chi_{0,95}^2$	$\chi_{0,99}^2$	$\chi_{0,999}^2$
1	0,016	0,148	0,455	1,07	2,71	3,84	6,63	10,8
2	0,211	0,713	1,39	2,41	4,61	5,99	9,21	13,8
3	0,594	1,42	2,37	3,67	6,25	7,81	11,3	16,3
4	1,06	2,19	3,36	4,88	7,78	8,49	13,3	18,5
5	1,61	3,00	4,35	6,06	9,24	11,1	15,1	20,5
6	2,20	3,83	5,35	7,23	10,6	12,6	16,8	22,5
7	2,83	4,67	6,35	8,38	12,0	14,1	18,5	24,3
8	3,49	5,53	7,34	9,52	13,4	15,5	20,1	26,1
9	4,17	6,39	8,34	10,7	14,7	16,9	21,7	27,9
10	4,87	7,27	9,34	11,8	16,0	18,3	23,2	29,6
11	5,58	8,15	10,3	12,9	17,3	19,7	24,7	31,3
12	6,30	9,03	11,3	14,0	18,5	21,0	26,2	32,9
13	7,04	9,93	12,3	15,1	19,8	22,4	27,7	34,5
14	7,79	10,08	13,3	16,2	21,1	23,7	29,1	36,1
15	8,55	11,7	14,3	17,3	22,3	25,0	30,6	37,7
16	9,31	12,6	15,3	18,4	23,5	26,3	32,0	39,3
17	10,1	13,5	16,3	19,5	24,8	27,6	33,4	40,8
18	10,9	14,4	17,3	20,6	26,0	28,9	34,8	42,3
19	11,7	15,4	18,3	21,7	27,2	30,1	36,2	43,8
20	12,4	16,3	19,3	22,8	28,4	31,4	37,6	45,3
21	13,2	17,2	20,3	23,9	29,6	32,7	38,9	46,8
22	14,0	18,1	21,3	24,0	30,8	33,9	40,3	48,3
23	14,8	19,0	22,3	26,0	32,0	35,2	41,6	49,7
24	15,7	19,9	23,3	27,1	33,2	36,4	43,0	51,2
25	16,5	20,9	24,3	28,2	34,4	37,7	44,3	52,6
26	17,3	21,8	25,3	29,2	35,6	38,9	45,6	54,1
27	18,1	22,7	26,3	30,3	36,7	40,1	47,0	55,5
28	18,9	23,6	27,3	31,4	37,9	41,3	48,3	56,9
29	19,8	24,6	28,3	32,5	39,1	42,6	49,6	58,3
30	20,6	25,5	29,3	33,5	40,3	43,8	50,9	59,7

Значение коэффициента R_0

$N \backslash \alpha$	0.999	0.990	0.975	0.900	0.950	0.800
1	1.00	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80
2	1.94	1.60	1.68	1.55	1.37	1.11
3	2.70	2.35	2.12	1.89	1.61	1.25
4	3.29	2.74	2.41	2.11	1.75	1.32
5	3.74	3.01	2.61	2.25	1.85	1.38
6	4.10	3.22	2.76	2.36	1.91	1.41
7	4.39	3.37	2.87	2.44	1.96	1.44
8	4.63	3.50	2.96	2.50	2.00	1.45
9	4.82	3.60	3.03	2.55	2.03	1.47
10	4.99	3.69	3.08	2.29	2.06	1.49
12	5.25	3.82	3.18	2.65	2.09	1.51
14	5.45	3.92	3.24	2.70	2.12	1.52
16	5.61	4.00	3.29	2.73	2.14	1.53
18	5.74	4.06	3.33	2.76	2.16	1.54
20	5.84	4.11	3.37	2.78	2.18	1.55
25	6.04	4.21	3.43	2.82	2.20	1.56
30	6.17	4.27	3.47	2.85	2.22	1.57
35	6.27	4.31	3.50	2.87	2.23	1.57
40	6.34	4.35	3.52	2.89	2.24	1.58
50	6.45	4.40	3.56	2.91	2.25	1.58
60	6.52	4.43	3.58	2.92	2.26	1.59
80	6.62	4.45	3.60	2.94	2.27	1.59
100	6.67	4.50	3.62	2.95	2.28	1.60
200	6.79	4.55	3.66	2.97	2.29	1.60
300	6.82	4.57	3.67	2.98	2.29	1.61
500	6.86	4.58	3.68	2.99	2.30	1.61
1000	6.88	4.59	3.68	3.00	2.30	1.61
∞	6.91	4.60	3.69	3.00	2.30	1.61

$$R_0 = n(1 - \sqrt[n]{1-\alpha}),$$

$$P_B = \frac{R_0}{n}.$$

Значения коэффициента R_1 при $\alpha = 0,95$

n/N n	0	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
1	19.5	19.5	19.6	19.6	19.7	19.7
2	5.63	5.53	5.44	5.35	5.26	5.15
3	3.66	3.60	3.52	3.44	3.36	3.27
4	2.93	2.87	2.81	2.74	2.67	2.59
5	2.64	2.49	2.43	2.37	2.31	2.25
6	2.29	2.28	2.20	2.15	2.09	2.04
8	2.01	1.98	1.93	1.89	1.84	1.79
10	1.88	1.81	1.78	1.74	1.70	1.66
15	1.62	1.60	1.58	1.54	1.51	1.48
20	1.51	1.49	1.46	1.44	1.41	1.39
25	1.44	1.42	1.40	1.38	1.35	1.33
30	1.39	1.37	1.35	1.34	1.31	1.29
40	1.32	1.31	1.30	1.28	1.25	1.24
50	1.28	1.27	1.26	1.24	1.23	1.21
60	1.25	1.25	1.23	1.22	1.21	1.20
80	1.21	1.21	1.20	1.19	1.18	1.17
100	1.19	1.18	1.17	1.18	1.16	1.15
150	1.15	1.14	1.14	1.13	1.12	1.12
200	1.13	1.12	1.12	1.11	1.10	1.10
250	1.11	1.11	1.10	1.10	1.09	1.09
300	1.10	1.10	1.09	1.09	1.08	1.08
400	1.09	1.08	1.08	1.08	1.07	1.07
500	1.08	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06
600	1.07	1.07	1.06	1.06	1.06	1.05
800	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.05
1000	1.06	1.06	1.06	1.06	1.04	1.04

$$P_n = \frac{n}{NR_1}$$

Значения коэффициента R_2 при $\alpha = 0,95$

n/N n	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	0.21	0.25	0.30	0.37	0.45	0.51
2	0.32	0.35	0.39	0.44	0.49	0.56
3	0.36	0.42	0.45	0.49	0.53	0.59
4	0.44	0.47	0.50	0.53	0.57	0.62
5	0.48	0.50	0.53	0.57	0.60	0.64
6	0.51	0.53	0.55	0.59	0.62	0.66
8	0.55	0.58	0.60	0.63	0.66	0.69
10	0.59	0.61	0.63	0.66	0.69	0.72
15	0.66	0.67	0.69	0.71	0.74	0.76
20	0.69	0.70	0.72	0.74	0.76	0.78
25	0.72	0.73	0.74	0.76	0.78	0.80
30	0.74	0.75	0.76	0.78	0.80	0.82
40	0.77	0.78	0.79	0.80	0.82	0.84
50	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83	0.85
60	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86
80	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88
100	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89
150	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91
200	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92
250	0.90	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93
300	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93
400	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94
500	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.96
600	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95	0.96
800	0.94	0.95	0.95	0.96	0.95	0.98
1000	0.95	0.95	0.97	0.97	0.97	0.97

$$P_n = \frac{n}{NR_2}$$

Приложение 6
Титульный лист курсовой работы

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра технической эксплуатации ЛАиАД

«Проверена»
Курсовая работа

(степень, звание, Ф. И. О.)

(подпись) (Ф. И. О.)

«Защищена»
Руководитель курсовой
работы
с оценкой _____

(подпись, дата)

КУРСОВАЯ РАБОТА
«Оценка показателей надежности
авиационной техники»

ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ»

Шифр студента:
вариант № _____

Курсовую работу
выполнил

_____ студент
(Ф. И.
О.)
_____ группа

_____ (подпись) _____ (дата)

Москва – 20 ____ г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Основы теории надежности. Ч.1. Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 2013.
2. Ицкович А.А. Надежность летательных аппаратов и авиадвигателей. Ч.2. Учебное пособие. – М.: МГТУ ГА, 1995.
3. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Пособие по выполнению лабораторных работ “Анализ физической сущности типовых отказов и повреждений АТ” для студентов IV курса специальности 160901и направления 160900 дневного обучения. - М.: МГТУ ГА, 2011.
4. Ицкович А.А., Файнбург И.А. Надежность авиационной техники. Пособие по выполнению практических занятий «Оценка показателей надежности авиационной техники»: М.: МГТУ ГА, 2012.
5. Смирнов Н.Н., Ицкович А.А. и др. Надежность и эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. Учебное пособие.- М.: МИИГА, 1989.
6. Ицкович А.А., Кабков П.К. Вероятностно-статистические модели эксплуатации ЛА: учебное пособие. - М.: МГТУ ГА, 2009.
7. ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Система управления надежностью. Основные положения.- М.: Стандартиформ, 2010.
8. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения.- М.: Стандартиформ, 2010.
9. ГОСТ Р 27.004-2009. Надежность в технике. Модели отказов.- М.: Стандартиформ, 2010.
10. ГОСТ Р 27.403-2009. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля вероятности безотказной работы.- М.: Стандартиформ, 2010.
11. ГОСТ Р 27.404-2009. Надежность в технике. Планы испытаний для контроля коэффициента готовности.- М.: Стандартиформ,2010.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	Общие положения.....	3
1.1.	Цели освоения дисциплины.....	3
1.2.	Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.....	3
1.3.	Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.....	4
1.4.	Общие требования к курсовой работе.....	5
2.	Методические указания по изучению дисциплины.....	6
2.1.	Общие методические указания.....	6
2.2.	Программа и методические указания по изучению разделов дисциплины	7
3.	Методические указания по выполнению курсовой работы.....	19
3.1.	Структура курсовой работы.....	19
3.2.	Техническое задание.....	20
3.3.	Методические указания по решению задач.....	23
	Приложения:.....	37
	Приложение 1. Исходные данные для вариантов заданий.....	37
	Приложение 2. Принципиальные схемы СКВ самолетов Ил-62, Ту-154, Як-40.....	40
	Приложение 3. Оценка безотказности изделий параметрическим методом.....	46
	Приложение 4. Примеры оценок показателей безотказности изделий.....	50
	Приложение 5. Таблицы характеристик распределения случайных величин.....	55
	Приложение 6. Титульный лист курсовой работы.....	63
	Литература.....	64

Для заметок

Для заметок

Подписано в печать 17.03.2015 г.

Печать офсетная
3,95 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 1973/

3,42 уч.-изд. л.
Тираж 100 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а