

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ.**

В.Г. Бабаев, В.Е. Емельянов.

НАДЕЖНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

ПОСОБИЕ

по изучению дисциплины и контрольные задания

для студентов 5 курса специальности 201300

заочного обучения

Часть 1.

Москва 2004.

Рецензент к.т.н., доц. Яманов Д.Н.

Бабаев В.Г., Емельянов В.Е. Надежность и техническая диагностика. –М.: МГТУ ГА, 2004. Часть 1.

Данное пособие издается в соответствии с учебным планом студентов 5 курса специальности 201300 заочного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры АРЭС 10 сентября 2003г. и методического совета специальности 14 октября 2003г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Основные термины и определения надежности	4
2. Безотказность невосстанавливаемых объектов надежности	5
3. Восстанавливаемые объекты надежности. Поток отказов.....	7
4. Показатели безотказности при мгновенном восстановлении.....	8
5. Ремонтопригодность транспортного радиооборудования.....	9
6. Комплексные показатели надежности.....	10
7. Долговечность транспортного радиооборудования.....	11
8. Резервирование транспортного радиооборудования.....	12
9. Испытание на надежность.....	13
Контрольная работа.....	14
Литература.....	19
Приложения.....	20

ВВЕДЕНИЕ.

Дисциплина «Надежность и техническая диагностика» является первой профилирующей дисциплиной из цикла «Дисциплины специализаций», закладывающей основы теоретического базиса знаний в области технической эксплуатации транспортного радиооборудования.

Первая часть дисциплины посвящена вопросам надежности транспортного радиооборудования и включает разделы дисциплины, указанные в содержании пособия.

В результате изучения первой части дисциплины студенты должны знать основные термины и определения надежности, знать сущность и методы определения основных составляющих надежности на основании теории вероятности, методов математической статистики и системы Государственных нормативных документов, а также объективные факторы, влияющие на надежность, и способы повышения показателей надежности.

Основные умения, полученные в результате изучения дисциплины, заключены в умении давать определения составляющих надежность свойств и

показателей надежности, определении работоспособности и отказа изделий объекта надежности, определении числовых характеристик показателей надежности. Важным умением студентов является также овладение методами испытания на надежность и обработки результатов испытания на основе математической статистики.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ.

Вопросы программы:

- 1) Понятие и основные свойства объекта надежности.
- 2) Основные термины и определения надежности.

Литература: /1/, стр. 4-9.

Методические указания к изучению первого раздела.

Надежность есть комплексное свойство транспортного оборудования, определяемое методами теории вероятностей и математической статистики. С учетом этого математический аппарат теории надежности характеризует поведение в смысле надежности не отдельного изделия транспортного радиооборудования, а множества идентичных изделий, составляющих объект надежности. Поэтому при изучении дисциплины прежде всего обратите внимание на понятие и основные свойства ОБЪЕКТА НАДЕЖНОСТИ.

Объект надежности есть множество изделий единого функционального назначения, произведенных по единой технологии и использующих единую нормативно-техническую документацию (НТД), в частности, инструкцию по эксплуатации изделия. Например, объект надежности (ОН) есть множество бортовых автоматических радиоконпасов. Ясно, что ОН состоит из множества экземпляров изделий, а предсказать (либо рассчитать) поведение в смысле надежности какого-либо экземпляра множества невозможно. Методами теории надежности можно определить, например, число изделий множества, лишившихся работоспособности в некотором интервале наработки (отказавших в этом интервале), средние параметры множества по надежности, рассеяние (дисперсию) некоторых физических величин, характеризующих надежность и т.д.

Основные термины и определения надежности приведены в работе /1/ на стр. 4-9. Следует внимательно изучить этот материал и постараться запомнить на память основные термины и определения.

Наиболее часто используемыми терминами являются: работоспособность, отказ, критерий отказа, наработка до отказа и наработка между отказами, исправность, повреждение.

Обратите внимание на то, что надежность, как комплексное свойство ОН, состоит из четырех свойств: безотказность, ремонтпригодность, долговечность

и сохраняемость. Изучите определение этих свойств, разберите смысл и особенности свойств ОН, составляющих надежность.

2. ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОТКАЗНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ НАДЕЖНОСТИ.

Вопросы программы:

- 1) Понятие безотказности невосстанавливаемых ОН
- 2) Перечень, смысл и теоретическое описание показателей безотказности невосстанавливаемого ОН.
- 3) Основное управление надежности (безотказности).
- 4) Статическое (опытное) определение показателей безотказности невосстанавливаемого ОН.
- 5) Теоретический расчет показателей безотказности для различных распределений наработки до отказа.

Литература: /1/, стр. 10-59.

Методические указания к изучению второго раздела.

Понятие «безотказность» разобрано в работе /1/ на стр. 8.

Обратите внимание, что это свойство надежности определяет, как проявляет себя объект надежности (множество изделий) в сохранении работоспособности. А это означает по сути то, какое число изделий отказывает в определенном интервале наработки, какова средняя величина наработки до отказа объекта надежности, каковы частота и интенсивность отказов, а также дисперсия (иначе «рассеяние») наработок до отказа изделий относительно средней величины.

В данном разделе изучается безотказность невосстанавливаемых объектов, понятие такого объекта разобрано в /1/ на стр. 11-12.

Обратите внимание, что вероятность безотказной работы (в.б.о.р.) объекта надежности (ОН) есть число, меньшее единицы, которое показывает, какая доля ОН в интервале наработки $(0,t)$ не откажет, где t - интересующий нас момент наработки, который есть неслучайная величина. Так, если в.б.о.р. равна 0,25, это означает, что 25% изделий в указанном интервале является работоспособным. Изучите графики хода кривых в.б.о.р. и вероятности отказа, приведенные на стр. 13 работы /1/ и выводы по этим показателям на стр. 14. Заметим, что в.б.о.р. иначе называется функцией надежности.

Условная в.б.о.р. и условная вероятность отказа разобраны на стр. 15-16.

Учтите, что интервал безотказной работы $(0,t)$ - это интервал наработки, в течение которого не все изделия ОН отказали и остались работоспособные

экземпляры. Обратите внимание на формулы 2.18 и 2.19, по которым рассчитываются указанные показатели безотказности.

Далее разберите показатель безотказности- средняя наработка до отказа, формулы 2.21 и 2.23, по которым он рассчитывается.

Интенсивность отказов рассмотрена на стр. 18-20, она легко определяется на основании формулы 2.18 условной вероятности отказов. Из формулы 2.25 видно, что интенсивность отказов есть отношение функции плотности распределения вероятностей (иначе функции частоты отказов) к функции надежности (т.е., в.б.о.р.). Ясно, что при $t=0$ (начало эксплуатации ОН) в.б.о.р. равна единице (100% работоспособность ОН) и тогда интенсивность отказов равна функции плотности распределения вероятностей.

Используя понятие и формулу интенсивности отказов, получаем основное уравнение надежности невосстанавливаемых ОН, см. стр. 20-21 работы /1/. Основное уравнение надежности-формулы 2.27 и 2.28.

Статистическое (опытное, экспериментальное) определение ОЦЕНОК показателей безотказности разобрано на стр. 21-23, обратите внимание на постановку задачи, описанную в начале пункта 2.2.6 второго раздела работы /1/, выучите и запомните формулы статистических (опытных) оценок показателей безотказности невосстанавливаемых ОН – формулы 2.29 и 2.30, 2.31, 2.33 и 2.34. Заметьте, что условные обозначения оценок показателей имеют сверху так называемую «шапку».

Теоретический (иначе априорный, т.е. до опыта, эксперимента) расчет показателей безотказности проводится на основании известных функций: распределения вероятностей $F(t)$ и плотности распределения вероятностей $f(t)$. Иначе говоря, нам известны уравнения этих функций и числовые значения параметров (коэффициентов) функций. Так, например, в случае показательного (экспоненциального) распределения вероятностей известна величина параметра распределения- интенсивности отказов. Ее величина не зависит от наработки, т.е. постоянна в диапазоне наработки от нуля до бесконечности. В случае нормального распределения вероятностей известны постоянные значения математического ожидания наработки до отказа и среднего квадратического отклонения наработок до отказа от математического ожидания. С учетом сказанного, в работе /1/ на стр. 23-53 приводятся методики теоретического расчета показателей безотказности для различных законов распределения вероятностей.

В случае показательного распределения вероятностей теоретический расчет рассмотрен на стр. 24-28. Этот материал основан на несложной математике, его следует внимательно изучить и запомнить.

Более сложный материал - для нормального распределения вероятностей, в теории надежности называемого усеченным нормальным. Это объясняется тем, что случайная величина-наработка до отказа – не может быть отрицательной величиной.

Для понимания материала в случае нормального распределения вероятностей вначале нужно изучить вводный материал, приведенный на стр. 32-33. Затем разберите суть нормированного нормального распределения и

нормированной функции Лапласа- стр. 34-35. После этого нетрудно уяснить теоретический расчет показателей безотказности невосстанавливаемого ОН- стр. 35-42. Рекомендуются обратить внимание на график функции надежности- рис. 3.4, стр 39, из него видно, что основная доля отказов приходится на узкий интервал наработки в районе математического ожидания, а это в точности соответствует ходу кривой функции плотности распределения вероятностей- рис. 3.3, стр. 33. Ясно, что ширина этого интервала тем меньше, чем больше отношение математического ожидания к среднему квадратическому отклонению.

3. ПОНЯТИЕ ВОССТАНАВЛИВАЕМОГО ОБЪЕКТА НАДЕЖНОСТИ И СВОЙСТВА ПОТОКА ОТКАЗОВ.

Вопросы программы:

- 1) Характеристика восстанавливаемых ОН.
- 2) Свойства потока отказов.

Литература: /1/, стр. 59-66.

Методические указания к изучению третьего раздела.

Восстанавливаемый ОН –это ОН, для которого в рассматриваемой ситуации предусмотрено проведение восстановления работоспособного состояния изделий ОН согласно нормативно-технической документации (НТД). В процессе восстановления происходит обнаружение места отказа изделия ОН, устранение отказа, затем проверка и регулирование всех параметров изделия (например, мощности передатчика, чувствительности приемника, стабильности частот блоков изделия и т.д.), определяющих его работоспособность, и оформление документации на восстановление изделия.

Определение потока отказов рассмотрено в работе /1/ на стр. 62-63. Обратите внимание на модель потока отказов рис. 5.3, стр. 62 и основные условные обозначения: номер отказа, момент возникновения отказа, случайные наработки между отказами и случайное время восстановления.

Основные свойства потока отказов- стационарность, свойство последствия и ординарность –см. стр. 63-65. Обратите внимание на то, что эти свойства потока отказов определяются через важный показатель потока- вероятность появления фиксированного числа отказов в некотором интервале наработки. Так, например, поток отказов является стационарным, если эта вероятность определяется длиной интервала наработки, а не его расположением на оси наработки, для транспортного РЭО- оси времени (см. формулу 5.2. на стр. 64). Необходимо помнить, что все потоки отказов в теории надежности являются ординарными (см. формулу 5.6. на стр. 65).

Исходя их свойств потока отказов осуществляется их классификация, рассмотренная на стр. 65. Запомните, что простейший поток отказов

(пуассоновский стационарный) обладает всеми тремя вышеперечисленными свойствами: стационарностью, отсутствием последствия и ординарностью.

4. НОМЕНКЛАТУРА И СВОЙСТВА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ПРИ МГНОВЕННОМ ВОССТАНОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ОН.

Вопросы программы:

- 1) Сущность и теоретическое применение мгновенного восстановления изделий ОН.
- 2) Номенклатура и свойства показателей безотказности при таком восстановлении.
- 3) Теоретический расчет показателей безотказности для простейшего потока отказов при мгновенном восстановлении.

Литература: /1/, стр. 67-96.

Методические указания к изучению четвертого раздела.

Очевидно, что после отказа первого изделия ОН происходит его восстановление, на которое затрачивается некоторое время, являющиеся случайной величиной. Следовательно, в реальности имеет место поток отказов и восстановлений, как было разобрано в предыдущем разделе – рис. 5.3., стр. 62. Ясно, что в этом потоке наиболее важным является поток отказов изделий ОН, определяющий безотказность восстанавливаемого ОН. Для того, чтобы детально изучить поток отказов, нужно теоретически условно принять, что случайное время восстановления равно нулю. Практически это означает, что отказавшее изделие удаляется из ОН и мгновенно заменяется другим работоспособным, заранее подготовленным к работе.

Номенклатура показателей безотказности представлена в /1/ на стр. 61-73. Из этого материала ясно определение и сущность этих показателей. Свойства и теоретический расчет показателей приведены на стр. 74-91.

Теоретический расчет показателей безотказности для простейшего потока отказов разобран в /1/ на стр. 92-96. Материал этого вопроса программы основан на том, что функция распределения первого отказа подчиняется показательному (экспоненциальному) закону, о котором говорилось во втором разделе дисциплины. Поэтому математические выкладки этого вопроса несложные и легко понять полученные результаты. В частности, выясняется, что средняя наработка на отказ равна средней наработке до первого отказа и обе обратны величине постоянной для этого распределения интенсивности отказов.

5. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО РАДИООБОРУДОВАНИЯ.

Вопросы программы:

- 1) Понятие ремонтпригодности (восстанавливаемости).
- 2) Перечень и смысл показателей ремонтпригодности.
- 3) Статистическое (опытное) определение показателей ремонтпригодности.
- 4) Теоретический расчет показателей ремонтпригодности для различных распределений вероятности времени восстановления.

Литература: /2/, стр. 4-18.

Методические указания к изучению пятого раздела.

Понятие ремонтпригодности рассмотрено в работе /2/ на стр. 4-5, там же разбираются другие определения, связанные с ремонтпригодностью ОН. Обратите внимание на то, что в проблеме ремонтпригодности случайная величина есть время восстановления изделия ОН после его отказа. Описанием свойств этой случайной величины являются известные по второму разделу функции: распределения вероятностей $F_b(t)$ и плотности распределения вероятностей $f_b(t)$.

Перечень и смысл показателей ремонтпригодности рассмотрены в /2/ на стр. 5-14. Там же приведены формулы статистического (опытного) определения показателей ремонтпригодности. Ясно, что с помощью указанных вероятностных функций определяется поведение множества изделий ОН, подвергаемых восстановлению. Так, например, вероятность восстановления ОН (по замыслу-аналог вероятности отказа ОН) показывает, какая доля множества в указанном интервале времени будет восстановлена. Так, если по расчету в интервале (0,10 час) вероятность восстановления равна 0,7, это означает, что в указанном интервале будет восстановлено 70% изделий множества.

Статистическое (опытное) определение показателей ремонтпригодности основано на том же принципе, что и статистическое определение показателей безотказности, разобранные во втором разделе дисциплины. Суть этого принципа состоит в том, что происходит наблюдение за восстановлением изделий ОН, фиксируется время, затраченное на восстановление каждого экземпляра ОН, и определяется число изделий, восстанавливаемых в нужном интервале времени. Формулы статистического определения показателей ремонтпригодности совершенно аналогичны формулам статистического определения показателей безотказности.

Теоретический расчет показателей ремонтпригодности для различных распределений вероятностей времени восстановления разобран в работе /2/ на стр. 14-34. Обратите внимание на теоретический расчет для показательного (экспоненциального) распределения вероятностей – см. стр. 14-18. Этот расчет основан на наиболее простом математическом аппарате, известном по

второму разделу дисциплины. Ясно, что полученные выводы по этому расчету- такие же, как для случая безотказности при показательном распределении. Так, среднее время восстановления обратно величине интенсивности восстановления, которая есть постоянная во времени величина. Обратите внимание на графики функции восстановления, приведенные на рис. 3.1, стр. 16. Помните, что величина вероятности восстановления (т.е. доли восстановленных изделий ОН) увеличивается с ростом времени, отведенного на восстановление (рис. 3.1,а). Аналогично ведет себя функция вероятности отказа ОН с ростом наработки.

6. КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО РАДИООБОРУДОВАНИЯ.

Вопросы программы:

- 1) Перечень и смысл комплексных показателей надежности.
- 2) Понятие коэффициента (функции) готовности, сущность и теоретический расчет этого показателя надежности.
- 3) Понятие коэффициента (функции) оперативной готовности, сущность и теоретический расчет этого показателя.
- 4) Понятие коэффициента технического использования, сущность и теоретический расчет показателя.

Литература: /3/, стр. 5-45.

Методические указания к изучению шестого раздела.

Показатели надежности называются комплексными если они учитывают не одно, а несколько свойств надежности. Так, в данном разделе дисциплины показатели надежности учитывают два свойства – безотказность и ремонтпригодность, поэтому они являются комплексными.

Для понимания комплексных показателей надежности нужно снова обратиться к модели потока отказов и восстановлений, рассмотренной в работе /3/ на стр. 7-12. Из этой модели ясно, что в процессе эксплуатации множества изделий, составляющих ОН, часть изделий всегда находится на восстановлении, после чего они возвращаются на эксплуатацию, а вместо них переходят на восстановление другие отказавшие изделия. Следовательно, основная теоретическая (и практическая) цель анализа ОН с конечным (т.е. не равным нулю) временем восстановления заключается в том, чтобы определить, какая доля множества в любой момент времени работоспособна и находится на эксплуатации.

Перечень комплексных показателей надежности и их сущность разобраны в [3] на стр. 13-22.

Основной комплексный показатель надежности – коэффициент (иначе – функция) готовности. Методика теоретического расчета показателя – см. стр. 30-32, а для простейшего потока отказов – стр. 32-34, анализ и смысл полученных результатов – стр. 34-35.

Коэффициент (функция) оперативной готовности рассмотрен в работе [3] на стр. 36-39, для простейшего потока отказов – стр. 39-40.

Коэффициент технического использования разобран на стр. 40-42, статистическое определение комплексных показателей надежности – стр. 42-46.

7. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО РАДИООБОРУДОВАНИЯ.

Вопросы программы:

- 1). Основные термины и определения долговечности.
- 2). Перечень и смысл показателей долговечности.
- 3). Теоретический расчет показателей долговечности для различных распределений вероятности ресурса.
- 4). Статистическое (опытное) определение показателей долговечности.

Литература: [2], стр. 34-43

Методические указания к изучению седьмого раздела.

Для изучения данного раздела прежде всего следует изучить основные термины и определения: предельное состояние изделия ОН, технический ресурс (далее – просто ресурс), долговечность ОН. Заметьте, что в проблеме долговечности случайной величины является ресурс изделия – наработка от начала эксплуатации до наступления предельного состояния. Очевидно, что эта случайная величина описывается известными функциями – распределения вероятностей и плотности распределения вероятностей, обозначенных соответственно $F_p(t)$ и $f_p(t)$, где индекс “р” обозначает ресурс изделий ОН.

Перечень и содержание показателей долговечности рассмотрены в работе [2] на стр. 36-41. Специфическими для проблемы долговечности являются показатели: гамма-процентный ресурс и назначенный ресурс. Первый показатель есть НАРАБОТКА, в течении которой не достигают предельного состояния гамма-процентов (например, гамма равна 30%) изделий ОН. Вторым показателем является частный случай первого т. е. это также наработка при условии, что по соображениям безопасности или реже экономическим назначается величина коэффициента гамма (обычно в пределах 0,7... 0,85).

Теоретический расчет показателей долговечности разберите на примере показательного распределения случайного ресурса – см. [2], стр. 41-43.

Статистическое (опытное) определение показателей долговечности рассмотрено на стр. 38-40. Помните, что получение оценок этих показателей осуществляется путем наблюдения за изделиями ОН, определения

индивидуальных ресурсов изделий и расчету оценок по формулам 10.7, 10.12 и 10.15.

8. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНОГО РАДИООБОРУДОВАНИЯ.

Вопросы программы:

- 1). Понятие, основные термины и классификация резервирования.
- 2). Свойства постоянного резервирования без восстановления: общего и отдельного.
- 3). Свойства ненагруженного резервирования замещением: общего и отдельного.
- 4). Свойства резервированных систем с восстановлением.

Литература: [3], стр. 46-87.

Методические указания к изучению восьмого раздела.

В общем случае резервирование есть применение ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ средств или возможностей с целью повышения надежности. В связи с этим существуют разные виды резервирования, из которых изучается основной вид – структурное резервирование. Оно состоит в том, что применяются дополнительные (резервные) элементы структуры, дающие рост надежности.

Основные термины структурного резервирования разработаны в работе [3] на стр. 47. Основные свойства и классификация структурного резервирования рассмотрены на стр. 50-52. Следует помнить, что для того, чтобы назвать вид структурного резервирования, необходимо указать четыре признака:

- 1) общее или отдельное,
- 2) постоянное или замещением (вид динамического),
- 3) нагруженное или ненагруженное (относится к резервному элементу (части), находящемуся в режиме ожидания включения в работу вместо отказавшего основного элемента (части)).
- 4) восстанавливаемое или невосстанавливаемое (относится к элементу (части), отказавшему в процессе эксплуатации).

На стр. 51-52 приведены примеры резервирования бортового и наземного РЭО.

Свойства постоянного резервирования без восстановления начните изучать со свойств последовательного или параллельного (в смысле надежности, а не в электрическом смысле) соединения элементов изделия – работа [3], стр. 53-57. После этого понятны свойства постоянного резервирования – см. стр. 57-59 для общего резервирования и стр. 60-63 – для отдельного. Помните, что при постоянном резервировании основная и

резервная части резервированного изделия работают НАРАВНЕ, значит имеет место нагруженное резервирование.

Свойства ненагруженного резервирования замещением при различной кратности резервирования разобраны в [3] на стр. 64-72. Обратите внимание на резервирование замещением в случае дублированной системы. Вероятность безотказной такой системы определяется уравнением 8.1 в общем виде и уравнением 8.3 для простейших потоков отказов основной и резервной частей ОН.

В случае отдельного резервирования замещением используется схема рис. 8.2 и уравнение 8.14.

Свойства резервированных систем с восстановлением начните изучать с графа состояний и переходов – рис. 9.1 стр. 75 и переходных вероятностей, разобранных на стр. 77-79. Результат теоретических выкладок по этому резервированию сводится к формулам 9.24 и 9.25. Обратите внимание на обсуждение этих формул на стр. 83-86 и полученные результаты для конкретных условий работы резервированных систем.

9. ИСПЫТАНИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ.

Вопросы программы:

- 1). Сущность испытаний на надежность, виды испытаний, планирование испытаний.
- 2). Точечные оценки показателей безотказности и их свойства. Построение гистограмм функций безотказности.
- 3). Определение точечных оценок методом максимального правдоподобия.
- 4). Интервальные оценки – общие сведения, получение оценок для показательного и нормального распределений вероятностей.
- 5). Непараметрические испытания – определение закона распределения вероятностей по критерию согласия “хи-квадрат”.

Литература: [4], стр. 4-25; 29-39; 45-46; 51-69; 75-82.

Методические указания к изучению девятого раздела.

Сущность испытаний на надежность, виды и планы испытаний рассмотрены в работе [4], стр. 4-10. При изучении этого материала обратите внимание на испытания на безотказность – основной вид испытаний. Остальные виды испытаний – на ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость – применяются не так часто. Отметим, что процедура испытаний и методы обработки результатов во всех видах испытаний являются одинаковыми.

Обратите внимание и изучите краткие сведения по математической статистике, приведенные в [4] на стр.10-15. Это поможет лучше усвоить материал по испытаниям на надежность.

Сущность точечных оценок показателей надежности (безотказности) рассмотрена на стр. 10, 15-20. Основные свойства точечных оценок – на стр. 21-26.

Определение точечных оценок методом максимального правдоподобия разобрано в [4] на стр. 29-35. Обратите внимание на то, что функция правдоподобия выборки основана на вероятности совместного появления всех вариантов выборки – формула 4.26 на стр. 31. Наиболее удобна логарифмическая функция правдоподобия, которая позволяет составить уравнения правдоподобия, лежащие в основе метода максимального правдоподобия.

В качестве примера использования этого метода изучите материал определения оценки средней наработки до отказа при показательном распределении вероятностей наработки до отказа – см. [4], стр. 36-38.

Общие сведения об интервальных оценках приведены в [4], стр. 51-56. В этом материале обратите внимание на понятия КВАНТИЛЬ и ПРОЦЕНТНАЯ ТОЧКА.

Определение двусторонней интервальной оценки для показательного распределения вероятностей – см. [4], стр. 62-63, для нормального распределения вероятностей – см. [4], стр. 70-72.

Сущность непараметрического испытания на надежность состоит в определении закона распределения вероятностей случайной величины – например, наработки до отказа. Вначале обратите внимание на сущность задачи выравнивания статистического ряда – работа [4], стр. 76-79. Затем изучите определение закона распределения вероятностей по критерию согласия Пирсона “хи-квадрат” – см. стр. 79-82. Этот критерий согласия и соответствующая методика используется в контрольной работе по данной дисциплине.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА.

Контрольная работа состоит из четырех задач. Вариант контрольной работы студента соответствует ПОСЛЕДНЕЙ ЦИФРЕ НОМЕРА зачетной книжки, цифра 0 соответствует десятому варианту.

Каждая задача должна содержать расчетные формулы, необходимые пояснения к ним, расчеты по формулам сводятся в таблицы, по которым строятся графики.

ЗАДАЧА №1

Показатели безотказности невосстанавливаемых ОН.

Наработка до отказа невосстанавливаемого ОН подчиняется нормальному закону распределения вероятностей с параметрами m и σ .

Рассчитайте функции $p(t)$, $q(t)$, $f(t)$ и $\lambda(t)$ для десяти значений наработки в пределах 0... (10... 20) тыс. часов и двух значений m . Данные расчетов сведите в таблицы, постройте графики функций. Дайте пояснение по ходу графиков. Определите величины средней наработки до отказа и с.к.о. наработки до отказа.

Исходные данные

Номер Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mt_1 , тыс. часов	5	4	5.5	4	6	3	7	6.5	4.5	7
mt_2 , тыс. часов	7	6	7.5	7	8	6	10	9	8	10.5
σ_t , тыс. часов	2	3	3.5	3	3.5	2	4	4	2.5	4.5

Указания

1. Заданные функции рассчитываются отдельно для двух заданных значений mt_1 и mt_2 .
2. Используйте формулы 3.36, 3.37, 3.40, 3.41, 3.43, 3.47 и 3.49 работы [1].
3. Вначале рассчитайте коэффициенты усечения, а также средние наработки до отказа и с.к.о. – также для двух значений математического ожидания. Нормированная функция Лапласа – таблица приложения П1.
4. Графики функций $p(t)$ и $q(t)$ приведите в общей системе координат (по два графика каждый), то же для функций $f(t)$ и $\lambda(t)$.
5. Определите число отказов за некоторую выбранную произвольно наработку и в интервале наработки, используя формулы оценок показателей безотказности – см. стр. 21-22 работы [1].

ЗАДАЧА №2

2.1. Показатели ремонтпригодности.

Случайное время восстановления подчиняется показательному закону распределения вероятностей с параметром- интенсивность восстановления μ в. Рассчитайте функции вероятности восстановления для двух значений интенсивности восстановления. Данные расчетов сведите в таблицу для десяти значений времени, отведенного на восстановление в пределах 0... (25... 50) часов. Постройте графики этих функций в общей системе координат. Рассчитайте значения среднего времени восстановления.

Исходные данные

Номер Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
μ_{v1} , 1/час	0.2	0.125	0.11	0.08	0.25	0.055	0.05	0.06	0.04	0.1
μ_{v2} , 1/час	0.08	0.3	0.25	0.18	0.05	0.12	0.16	0.17	0.14	0.25

Указания

1. Используйте формулы 3.3 и 3.6 работы [2].
2. Определите число восстановленных изделий за некоторое выбранное произвольно время и в интервале времени, используя формулы ОЦЕНОК 2.4 и 2.22 работы [2], взяв $N=1000$ штук.

Показатели долговечности

Случайный индивидуальный ресурс подчиняется показательному закону распределения вероятностей с параметром λ_p . Рассчитайте функцию вероятности недостижения предельного состояния и постройте ее график в пределах до 100 тыс. часов. Далее рассчитайте средний ресурс, гамма-процентный ресурс и назначенный ресурс.

Исходные данные

Номер Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_p, 10^{-3}, 1/\text{час}$	0.05	0.1	0.075	0.04	0.02	0.03	0.08	0.11	0.06	0.075
$\gamma\%$	70	60	30	65	50	55	40	45	80	90
γ_H	0,8	0,7	0,75	0,82	0,77	0,9	0,88	0,74	0,81	0,86

Указания

1. Используйте формулы 11.3, 11.4, 11.5 и 11.6 работы [2].
2. Определите число изделий, не достигших предельного состояния за некоторую произвольно выбранную наработку, используя формулу 10.2 работы [2].

ЗАДАЧА №3

Показатели надежности резервированных невосстанавливаемых систем.

Изделие состоит из двух частей: первая часть включает k элементов, соединенных последовательно (в смысле надежности), вторая часть – n элементов, соединенных так же. Все элементы равнонадежны и имеют интенсивность отказов λ .

Резервирование использует дублирование каждой части.

Рассчитайте:

- 1) функцию надежности $p(t)$ нерезервированной системы и ее среднюю наработку до отказа,
- 2) функцию надежности резервированной системы при общем постоянном резервировании каждой части и среднюю наработку до отказа,
- 3) функцию надежности резервированной системы при отдельном резервировании каждой части и среднюю наработку до отказа,
- 4) функцию надежности резервированной системы при общем резервировании замещением каждой части и среднюю наработку до отказа,

Приведите структурные схемы надежности для каждого случая, постройте графики всех функций надежности в единой системе координат, заканчивая наработками, когда $p(t)=0,1$. Расчеты сведите в таблицы.

Рассчитайте выигрыш по функции надежности для одной наработки, порядка 1-3 тыс. часов, по сравнению с отсутствием резерва и выигрыш по величине средней наработки до отказа.

Исходные данные										
Номер Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	3	4	4	5	5	4	3	3	4	5
n	4	3	2	3	4	5	5	3	4	2
$\lambda, 10^{-3}, 1/\text{час}$										

Указания

Для расчета показателей надежности нерезервированной системы используйте формулу подраздела 7.1 работы [3], стр. 53-55.

Для расчетов в случае постоянного общего резервирования используйте формулы 7.18-7.19, стр. 59. Помните, что изделие состоит из двух частей, поэтому общая функция надежности резервированной системы есть произведение функций двух частей. Определение общей средней наработки до отказа – по формуле 7.6, стр. 54, где участвует общая функция надежности.

Для расчетов в случае постоянного раздельного резервирования используйте формулы 7.22, стр. 61 и 7.24, стр. 62 – для каждой части изделия. Для получения общей функции надежности резервированной системы поступайте как в предыдущем случае. Для получения общей средней наработки до отказа разделите произведение средних наработок до отказа частей на их сумму.

Для расчетов в случае общего резервирования замещением используйте формулы 8.3 и 8.4, стр. 66-67 – для каждой части изделия. Помните, что в этих формулах интенсивность отказов есть сумма интенсивностей отказов – в первой части k элементов, во втором – n элементов. Для определения общей функции надежности резервированной системы поступайте как в предыдущем случае, аналогично для определения общей средней наработки до отказа.

Учтите, что в формулах работы [3] $m=1$, так как используется дублирование основного изделия резервным.

ЗАДАЧА №4

Обработка данных при испытаниях на надежность.

По опытным данным установлен вариационный ряд наработок до отказа в часах.

- 10, 21, 35, 41, 51, 55, 59, 62, 66, 68, 71, 73, 75, 79, 81, 82, 85, 89, 90, 92, 94, 95, 97, 99, 105, 110, 112, 114, 115, 118, 122, 123, 130, 135, 142, 150, 159, 162, 170, 195

2. 2, 3, 5, 7, 9, 11, 14, 16, 18, 22, 25, 29, 31, 34, 37, 38, 41, 45, 47, 51, 53, 57, 62, 68, 70, 72, 74, 82, 86, 90, 96, 102, 110, 115, 122, 135, 142, 147, 169, 194
3. 3, 5, 8, 10, 12, 14, 16, 17, 18, 23, 25, 26, 28, 30, 34, 37, 42, 43, 47, 49, 52, 57, 61, 64, 70, 71, 75, 81, 86, 90, 95, 105, 110, 115, 125, 135, 144, 155, 170, 198
4. 11, 25, 35, 44, 48, 52, 59, 62, 68, 70, 71, 75, 77, 79, 82, 86, 87, 89, 90, 91, 93, 95, 97, 99, 105, 107, 110, 114, 116, 118, 122, 127, 130, 135, 141, 145, 155, 162, 172, 191
5. 9, 22, 32, 41, 45, 55, 57, 62, 65, 69, 70, 71, 75, 77, 81, 83, 84, 86, 92, 93, 95, 96, 97, 99, 102, 110, 115, 116, 118, 119, 121, 130, 135, 137, 141, 151, 159, 170, 179, 192
6. 2, 4, 6, 10, 12, 16, 17, 18, 22, 23, 29, 30, 32, 37, 39, 42, 44, 45, 50, 52, 54, 61, 64, 70, 72, 77, 81, 84, 92, 95, 105, 110, 115, 122, 132, 141, 151, 168, 194
7. 8, 22, 32, 41, 45, 55, 56, 61, 64, 69, 72, 75, 77, 79, 81, 83, 84, 86, 90, 91, 94, 95, 96, 97, 102, 110, 112, 116, 117, 118, 124, 128, 130, 137, 144, 149, 159, 170, 175, 194
8. 2, 4, 5, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 27, 30, 35, 37, 41, 42, 47, 49, 53, 57, 62, 70, 71, 74, 75, 85, 87, 91, 95, 110, 115, 118, 122, 137, 144, 155, 170, 191
9. 11, 24, 34, 41, 49, 50, 55, 61, 64, 69, 70, 72, 74, 77, 81, 83, 84, 87, 89, 90, 91, 94, 95, 97, 110, 112, 114, 115, 116, 118, 121, 130, 131, 135, 141, 151, 155, 170, 175, 190
10. 6, 7, 10, 12, 14, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 29, 31, 35, 37, 38, 42, 45, 46, 50, 55, 57, 61, 70, 71, 75, 76, 85, 87, 91, 95, 110, 111, 112, 125, 135, 141, 155, 174, 199

- 1) Постройте гистограмму f_j , используя материал работы [4], стр. 17-20, табл. 3.1, рис. 3.2, разбив диапазон наработок на 10 интервалов на 20 часов
- 2) Определите вероятностный закон распределения наработки до отказа, используя критерий “хи-квадрат”, задавшись доверительной вероятностью 0,9; 0,95; 0,99; 0,995; 0,999. Методика критерия – в работе [4], стр. 80-82.
- 3) Определите доверительный интервал для средней наработки до отказа с учетом найденного закона распределения и принятой выше доверительной вероятности: в случае показательного распределения – см. [4], стр. 62-64, а в случае нормального распределения – см. [4], стр. 70-71, считая полученную ранее оценку с. к. о., как известную и истинную (формула 10.18, стр. 82). Необходимые таблицы данных приведены в приложениях П1 и П2, в приложении П3 приведены указания по использованию таблиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Г. Бабаев, В.Е. Емельянов. Показатели безотказности авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: РИО МГТУ ГА, 1995
2. В.Г. Бабаев. Показатели ремонтпригодности и долговечности авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: РИО МГТУ ГА, 1996
3. В.Г. Бабаев. Комплексные показатели надежности и резервирования авиационного РЭО. М.: РИО МГТУ ГА, 1997
4. В.Г. Бабаев. Испытание на надежность. М.: РИО МГТУ ГА, 1998

Приложение П1
Нормированная функция Лапласа $\Phi(X)$

X	Сотые доли для X									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.0000	040	080	120	160	199	239	279	319	359
0.1	398	438	478	517	557	596	636	675	714	753
0.2	793	832	871	910	948	987	026	064	103	141
0.3	0.1179	217	255	293	331	368	406	440	480	517
0.4	554	591	628	664	700	736	772	808	844	879
0.5	915	950	985	019	054	088	123	157	190	224
0.6	0.2257	291	324	357	389	422	454	486	517	549
0.7	580	611	642	673	703	734	764	794	823	852
0.8	881	910	939	967	955	023	051	078	106	133
0.9	0.3159	186	212	238	264	298	315	340	365	389
1.0	413	437	461	485	508	538	554	577	599	621
1.1	643	665	686	708	729	749	770	790	810	830
1.2	849	869	888	907	925	944	962	980	997	015
1.3	0.4032	049	066	082	099	115	131	147	162	177
1.4	192	207	222	236	251	265	279	292	306	319
1.5	332	345	357	370	382	394	406	418	429	441
1.6	452	463	474	484	495	505	515	525	535	545
1.7	554	564	573	580	591	599	608	616	625	623
1.8	641	649	656	664	671	678	686	693	699	706
1.9	713	719	726	432	738	744	750	756	761	767
2.0	772	778	783	788	793	798	803	808	812	817
2.1	821	826	830	834	838	842	846	850	854	857
2.2	860	864	867	871	874	877	880	883	886	889
	966	474	906	263	545	555	894	962	962	893
2.3	892	895	898	900	903	906	908	911	913	915
2.4	918	920	922	924	926	928	930	932	934	936
	025	237	397	406	564	572	531	493	309	128
2.5	937	939	941	942	944	946	947	949	950	052
	903	634	323	969	574	139	664	151	600	012
2.6	0.4953	954	956	957	958	959	960	962	963	964
	388	729	035	308	547	754	930	074	189	274
2.7	965	966	967	968	969	970	971	971	972	973
	330	358	359	333	280	202	099	972	821	646
2.8	974	975	975	976	977	978	979	979	980	980
	449	229	988	726	443	140	818	476	116	738

Приложение П2.
Квантили распределения “хи-квадрат”

Число степеней свобод, ν	Вероятность p							
	0.001	0.005	0.010	0.025	0.050	0.100	0.200	0.300
6	0.381	0.676	0.872	1.24	1.64	2.20	3.07	3.83
7	0.598	0.989	1.24	1.69	2.17	2.83	3.82	4.67
8	0.857	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	4.59	5.53
9	1.15	1.73	2.09	2.70	3.33	4.17	5.38	6.39
10	1.48	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	6.18	7.27
11	1.83	2.60	3.05	3.82	4.57	5.58	6.99	8.15
12	2.21	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	7.81	9.03
13	2.62	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	8.63	9.93
14	3.04	4.07	4.66	5.63	6.57	7.79	9.47	10.8
15	3.48	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	10.3	11.7
16	3.94	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.2	12.6
18	4.90	6.26	7.01	8.23	9.39	10.9	12.0	14.4
20	5.92	7.43	8.26	9.59	10.9	12.4	14.6	16.3
22	6.98	8.64	9.54	11.0	12.3	14.0	16.3	18.1
26	9.22	11.2	12.2	13.8	15.4	17.3	19.8	21.8
30	11.6	13.8	15.0	16.8	18.5	20.6	23.4	25.5
35	14.7	17.2	18.5	20.6	22.5	24.8	27.8	30.2
40	17.9	20.7	22.2	24.4	26.5	29.1	32.3	34.9
45	21.3	24.3	25.9	28.4	30.6	33.4	36.9	39.6
50	24.7	28.0	29.7	32.4	34.8	37.7	41.4	44.3
55	28.2	31.7	33.6	36.4	39.0	42.1	46.0	49.1
60	31.7	35.5	37.5	40.5	43.2	46.5	50.6	53.3
65	35.4	39.4	41.1	44.6	47.4	50.9	55.3	58.6
70	39.0	43.0	45.4	48.8	51.7	55.3	59.9	63.3
75	48.8	47.2	49.5	52.9	56.1	59.8	64.5	68.1
80	46.5	51.2	53.5	57.2	60.4	64.3	69.2	72.9
85	50.3	55.2	57.6	61.4	64.7	68.8	73.9	77.7
90	54.2	59.2	61.8	65.6	69.1	73.3	78.6	82.5
95	58.0	63.2	65.9	69.9	73.5	77.8	83.2	87.3
100	61.9	67.3	70.1	74.2	77.9	82.4	87.9	92.1

Продолжение приложения П2.
Квантили распределения “хи-квадрат”

Число степеней свобод, ν	Вероятность p							
	0.700	0.800	0.900	0.950	0.975	0.990	0.995	0.999
6	7.23	8.56	10.6	12.6	14.4	16.8	18.5	22.5
7	8.38	9.80	12.0	14.1	16.0	18.5	20.3	24.3
8	9.52	11.0	13.4	15.5	17.5	20.1	22.0	26.1
9	10.7	12.2	14.7	16.9	19.0	21.7	23.6	27.9
10	11.8	13.4	16.0	18.3	20.5	23.2	25.2	29.6
11	12.9	14.6	17.3	19.7	21.9	24.7	26.8	31.6
12	14.0	15.8	18.5	21.0	23.3	26.2	28.3	32.9
13	15.1	17.0	19.8	22.4	24.7	27.7	29.8	34.5
14	16.2	18.2	21.1	23.7	26.1	29.1	31.3	36.1
15	17.3	19.3	22.3	25.0	27.5	30.6	32.8	37.7
16	18.4	20.5	23.5	26.3	28.8	32.0	34.3	39.3
18	20.6	22.8	26.0	28.9	31.5	34.8	37.2	42.3
20	22.8	25.0	28.4	31.4	34.2	37.6	40.0	45.3
22	24.9	27.3	30.8	33.9	36.8	40.3	42.8	48.3
24	27.1	29.6	33.2	36.4	39.4	43.0	45.6	51.2
26	29.2	31.8	35.6	38.9	41.5	45.6	48.3	54.1
28	31.4	34.0	37.9	41.3	44.5	48.3	51.0	56.9
30	33.5	36.3	40.3	43.8	47.0	50.9	53.7	59.7
35	38.9	41.8	46.1	49.9	53.2	57.3	60.3	66.6
40	44.2	47.3	51.8	55.8	59.3	63.7	66.8	73.4
45	49.5	52.7	57.5	61.7	65.4	70.0	73.2	80.1
50	54.7	58.2	63.2	67.5	71.4	76.2	79.5	86.7
55	60.0	63.6	68.8	73.3	77.4	82.3	85.7	93.2
60	65.2	69.0	74.4	79.1	83.3	88.4	92.0	99.6
65	70.5	74.4	80.0	84.8	89.3	94.4	98.1	106.0
70	75.7	79.7	85.5	90.5	95.0	100.4	104.2	112.3
75	80.9	85.1	91.1	96.2	100.8	106.4	110.3	118.6
80	86.1	90.4	96.6	101.9	106.6	112.3	116.3	124.8
85	91.3	95.7	102.1	107.5	112.4	118.2	123.3	137.2
90	96.5	101.1	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3	137.2
95	101.7	106.4	113.0	118.8	123.9	130.0	134.2	143.3
100	106.9	111.7	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2	149.4

Приложение П3.

Правило использования таблиц приложения.

1. Таблица приложения П1 “Нормированная функция Лапласа” $\Phi(X)$:

Таблица указывает три последних десятичных знака из четырех после запятой. Например, при $x = 0.5$ в таблице указано 915 – следует понимать, что $\Phi(0.5) = 0.1915$, так как при $x = 0.3$ в таблице впервые появилось значение первого знака после запятой – единицы $\Phi(0.3) = 0.1179$.

Для значений аргумента нормированной функции Лапласа x , начиная с $x = 2.2$, в таблице указаны шесть последних десятичных знаков после запятой. Так, при $x = 2.23$ $\Phi(2.23) = 0.4871263$.

2. Таблица приложения П2 “Квантили распределения “хи-квадрат”.

2.1 КВАНТИЛЬ – значение случайной величины “хи-квадрат”, которое определяет площадь под кривой функции плотности распределения, левее значения случайной величины, равное искомой вероятности.

2.2 Для нахождения квантиля следует знать значение вероятности (в таблице обозначено p , в формуле (7.20) $p = (1 - \gamma)/2$ и $p = (1 + \gamma)/2$) и число степеней свободы (в таблице обозначено ν , в формуле (7.20) оно равно $2g$, где g – число вариантов (чисел) в выборке).