

## **1. Учебный план дисциплины «Надежность транспортного радиооборудования»**

Дисциплина издается на пятом курсе, обучение завершается экзаменом по дисциплине.

Согласно учебному плану на дисциплину отведено 10 часов лекций и 8 часов практических занятий, запланировано выполнение одной контрольной работы и её защита. На самостоятельную работу (на изучение теории по рекомендуемой литературе, выполнение контрольной работы, подготовку к занятиям, защите контрольной работы и экзамену) учебным планом отводится 126 часов.

Самостоятельная работа студентов проходит в межсессионный период ( для студентов пятого курса – с начала января до начала третьей декады сентября); а также в течение лабораторно-экзаменационной сессии.

## **2. Основные сведения о дисциплине**

Дисциплина «Надежность транспортного радиооборудования» является первой профилирующей дисциплиной из цикла, который осуществляет подготовку специалистов в области технической эксплуатации транспортного радиооборудования.

В результате изучения дисциплины студенты должны знать основные термины и определения надежности, освоить сущность и методы определения основных свойств надежности – безотказности, ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости, а также их показателей (параметров), номенклатура которых составляет величину более десяти показателей. Изучение дисциплины знакомит студентов с системой Государственных нормативных документов и объективными факторами, влияющими на надежность, позволяет понимать пути повышения показателей надежности.

Освоение дисциплины основывается на таких базовых дисциплинах, как «Теория вероятностей», «Математическая статистика» и «Математический анализ» (дифференциальное и интегральное вычисления, решение системы линейных и иных уравнений и другое).

Материал дисциплины является основой и базисом для изучения дисциплин профессионального цикла: «Техническая диагностика транспортного РО», «Организация То и Р РЭС ВТ», «Техническая эксплуатация РЭО». Материал дисциплины также используется в ряде других

профессиональных дисциплин и дисциплин специализаций учебного плана специальности «ТЭ транспортного радиооборудования».

### **3. Литература**

#### **Основная**

1. Воробьев В.Г., Константинов В.Д. Надежность и техническая диагностика авиационного оборудования. - М.: МГТУГА, 2010.

#### **Дополнительная**

2. Бабаев В.Г., Емельянов В.Е. Показатели безотказности авиационного радиоэлектронного оборудования. - М.: МГТУГА, 1995.
3. Бабаев В.Г. Показатели ремонтпригодности и долговечности авиационного РЭО. - М.: МГТУГА, 1996.
4. Бабаев В.Г. Комплексные показатели надежности и резервирование авиационного РЭО. - М.: МГТУГА, 1997.
5. Бабаев В.Г. Испытание на надежность. - М.: МГТУГА, 1998.

#### **По практическим занятиям**

6. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Практикум. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

### **4. Электронный адрес кафедры для консультаций**

*teresvt@mstuca.aero*

### **5. Структура дисциплины**

Дисциплина включает следующие разделы:

1. Основные термины и определения надежности.
2. Показатели безотказности объектов надежности (ОН).

В разделе изучаются показатели надежности ОН, их математическое описание и статистическое определение.

3. Ремонтпригодность и долговечность транспортного РО.

В разделе изучаются показатели перечисленных свойств надежности, их математическое описание и статистическое определение.

#### 4. Комплексные показатели надежности.

В разделе изучаются показатели надежности, учитывающие такие свойства надежности, как безотказность и ремонтпригодность - функции готовности и оперативной готовности, коэффициент технического использования.

#### 5. Резервирование транспортного радиооборудования.

Здесь изучаются виды резервирования, способы структурного резервирования, их математическое описание, методы инженерного расчета.

#### 6. Испытание на надежность.

В разделе рассматривается комплекс вопросов, связанных с организацией испытания на надежность, математическим описанием процедуры испытаний, рассмотрением результатов испытаний.

## **6. Учебная программа дисциплины**

### **Тема 1. Понятие объекта надежности**

*Определение объекта надежности, свойства надежности, определяемые аппаратом теории надежности.*

### **Тема 2. Основные термины и определения надежности**

#### **Методические указания к изучению тем 1 и 2**

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 [2, с. 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.

Литература: [1, с. 3-6], [2, с. 4-9].

### **Тема 3. Показатели безотказности невосстанавливаемых объектов надежности**

*Понятие безотказности невосстанавливаемых ОН.*

*Перечень, смысл и теоретическое описание показателей безотказности невосстанавливаемых ОН.*

*Основное уравнение надежности (безотказности).*

*Статистическое (опытное) определение показателей безотказности невосстанавливаемого ОН.*

*Теоретический расчет показателей безотказности для различных распределений вероятностей наработки до отказа.*

### **Методические указания к изучению темы 3**

Понятие «безотказность» разобрано в [2, с. 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 [2, с. 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 в [2, с. 13] и выводы по этим показателям [2, с. 14]. Заметим, что в.б.о.р. иначе называется функцией надежности.

Условная в.б.о.р. и условная вероятность отказа разобраны в [2, с. 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 в [2, с. 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, [2, с. 20-21]. Основное уравнение надежности-формулы 2.27 и 2.28.

Статистическое (опытное, экспериментальное) определение ОЦЕНОК показателей безотказности разобрано в [2, с. 21-23], обратите внимание на постановку задачи, описанную в начале пункта 2.2.6 второго раздела работы [2], 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 [2, с. 23-53] приводятся методики теоретического расчета показателей безотказности для различных законов распределения вероятностей.

В случае показательного распределения вероятностей теоретический расчет рассмотрен в [2, с. 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 в [2, с. 32-33]. Затем разберите суть нормированного нормального распределения и нормированной функции Лапласа [2, с. 34-35]. После этого нетрудно уяснить теоретический расчет показателей безотказности невозстанавливаемого ОН [2, с. 35-42]. Рекомендуется обратить внимание на график функции надежности [2, рис. 3.4, с. 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 [2, рис. 3.3, с. 33]. Ясно, что ширина этого интервала тем меньше, чем больше отношение математического ожидания к среднему квадратическому отклонению.

Литература: [2, с. 10-59].

#### **Тема 4. Понятие восстанавливаемого объекта надежности. Свойство потока отказов**

*Характеристика восстанавливаемых объектов надежности.*

*Свойства потока отказов – стационарность, ординарность, свойство последствия.*

#### **Методические указания к изучению темы 4**

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 [2, с. 62-63]. Обратите внимание на модель потока отказов [2, рис. 5.3, с. 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 [2, с. 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 [2, формула 5.2, с. 64]. Необходимо помнить, что все потоки отказов в теории надежности являются ординарными [2, формула 5.6, с. 65].

Исходя из свойств потока отказов, осуществляется их классификация, рассмотренная в [2, с. 65]. Запомните, что простейший поток отказов (пуассоновский стационарный) обладает всеми тремя вышеперечисленными свойствами: стационарностью, отсутствием последствия и ординарностью.

Литература: [2, с. 59-66].

## **Тема 5. Номенклатура и свойства показателей безотказности при мгновенном восстановлении изделий ОН**

*Сущность и теоретическое применение мгновенного восстановления изделий ОН.*

*Номенклатура и свойства показателей безотказности при таком восстановлении.*

*Теоретический расчет показателей безотказности для простейшего потока отказов при мгновенном восстановлении.*

### **Методические указания к изучению темы 5**

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 предыдущей теме [2, рис. 5.3, с. 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 [2, с. 61-73]. Из этого материала ясно определение и сущность этих показателей. Свойства и теоретический расчет показателей приведены в [2, с. 74-91].

Теоретический расчет показателей безотказности для простейшего потока отказов разобран в [2, с. 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.

Литература:[2, с. 67-96].



## Тема 6. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО РАДИООБОРУДОВАНИЯ

*Понятие ремонтпригодности (восстанавливаемости).*

*Перечень и смысл показателей ремонтпригодности.*

*Статистическое (опытное) определение показателей ремонтпригодности.*

*Теоретический расчет показателей ремонтпригодности для различных распределений вероятности времени восстановления.*

### Методические указания к изучению темы 6

Понятие ремонтпригодности рассмотрено в [3, с. 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  $F_v(t)$  и плотности распределения вероятностей  $f_v(t)$ .

Перечень и смысл показателей ремонтпригодности рассмотрены в [3, с. 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 ч) 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 [3, с. 14-34]. Обратите внимание на теоретический расчет для показательного (экспоненциального) распределения вероятностей [3, с. 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 в [3, рис. 3.1, с. 16]. Помните, что величина вероятности восстановления (т.е. доли восстановленных изделий ОН) увеличивается с ростом времени, отведенного на восстановление [3, рис. 3.1,а)]. Аналогично ведет себя функция вероятности отказа ОН с ростом наработки.

Литература: [3, с. 4-18].

## **Тема 7. Комплексные показатели надежности транспортного радиооборудования**

*Перечень и смысл комплексных показателей надежности.*

*Понятие коэффициента (функции) готовности, сущность и теоретический расчет этого показателя надежности.*

*Понятие коэффициента (функции) оперативной готовности, сущность и теоретический расчет этого показателя.*

*Понятие коэффициента технического использования, сущность и теоретический расчет показателя.*

### **Методические указания к изучению темы 7**

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 [4, с. 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 [4, с. 13-22].

Основной комплексный показатель надежности – коэффициент (иначе – функция) готовности. Методика теоретического расчета показателя [4, с. 30-32], а для простейшего потока отказов [4, с. 32-34], анализ и смысл полученных результатов [4, с. 34-35].

Коэффициент (функция) оперативной готовности рассмотрен в [4, с. 36-39], для простейшего потока отказов [4, с. 39-40].

Коэффициент технического использования разобран в [4, с. 40-42], статистическое определение комплексных показателей надежности [4, с. 42-45].

Литература: [4, с. 5-45].

## **Тема 8. Долговечность транспортного радиооборудования**

*Основные термины и определения долговечности.*

*Перечень и смысл показателей долговечности.*

*Теоретический расчет показателей долговечности для различных распределений вероятности ресурса.*

*Статистическое (опытное) определение показателей долговечности.*

### **Методические указания к изучению темы 8**

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 [3, с. 36-41]. Специфическими для проблемы долговечности являются показатели: гамма-процентный ресурс и назначенный ресурс. Первый показатель есть НАРАБОТКА, в течение которой не достигают предельного состояния гамма-процентов (например, гамма равна 30%) изделий ОН. Вторым

показатель есть частный случай первого, т. е. это также наработка при условии, что по соображениям безопасности или реже экономическим назначается величина коэффициента гамма (обычно в пределах  $0,7 \dots 0,85$ ).

Теоретический расчет показателей долговечности разберите на примере показательного распределения случайного ресурса [3, с. 41-43].

Статистическое (опытное) определение показателей долговечности рассмотрено [3, с. 38-40]. Помните, что получение оценок этих показателей осуществляется путем наблюдения за изделиями ОН, определения индивидуальных ресурсов изделий и расчету оценок по формулам 310.7, 10.12 и 10.15.

Литература: [3, с. 34-43]

## **Тема 9 . Резервирование транспортного радиооборудования**

*Понятие, основные термины и классификация резервирования.*

*Свойства постоянного резервирования без восстановления: общего и отдельного.*

*Свойства ненагруженного резервирования замещением: общего и отдельного.*

*Свойства резервированных систем с восстановлением.*

### **Методические указания к изучению темы 9**

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 [4, с. 47]. Основные свойства и классификация структурного резервирования рассмотрены в [4, с. 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 [4, с. 53-57]. После этого понятны свойства постоянного резервирования [4, с. 57-59] для общего резервирования и [4, с. 60-63] – для раздельного. 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 [4, с. 64-72]. Обратите внимание на резервирование замещением в случае дублированной системы. Вероятность безотказности такой системы определяется уравнением 8.1 в общем виде и уравнением 8.3 для простейших потоков отказов основной и резервной частей ОН.

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

Свойства резервированных систем с восстановлением начните изучать с графа состояний и переходов [4, рис. 9.1, с. 75] и переходных вероятностей, разобранных в [4, с. 77-79]. Результат теоретических выкладок по этому резервированию сводится к формулам 9.24 и 9.25. Обратите внимание на обсуждение этих формул в [4, с. 83-86] и полученные результаты для конкретных условий работы резервированных систем.

Литература: [4, с. 46-87].

## **Тема 10. Испытание на надежность**

*Сущность испытаний на надежность, виды испытаний, планирование испытаний.*

*Точечные оценки показателей безотказности и их свойства. Построение гистограмм функций безотказности.*

*Определение точечных оценок методом максимального правдоподобия.*

*Интервальные оценки – общие сведения, получение оценок для показательного и нормального распределений вероятностей.*

*Непараметрические испытания – определение закона распределения вероятностей по критерию согласия “хи-квадрат”.*

## Методические указания к изучению темы 10

Сущность испытаний на надежность, виды и планы испытаний рассмотрены в [5, с. 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 [5, с. 10-15]. Это поможет лучше усвоить материал по испытаниям на надежность.

Сущность точечных оценок показателей надежности (безотказности) рассмотрена в [5, с. 10, 15-20]. Основные свойства точечных оценок в [5, с. 21-26].

Определение точечных оценок методом максимального правдоподобия разобрано в [5, с. 29-35]. Обратите внимание на то, что функция правдоподобия выборки основана на вероятности совместного появления всех вариантов выборки – формула 4.26, с. 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 в [5, с. 36-38].

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

Определение двусторонней интервальной оценки для показательного распределения вероятностей в [5, с.62-63], для нормального распределения вероятностей в [5, с. 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 в [5, с. 76-79]. Затем изучите определение закона распределения вероятностей по критерию согласия Пирсона “хи-квадрат” в [5, с.79-82]. Этот критерий согласия и соответствующая методика используется в контрольной работе по данной дисциплине.

Литература: [5, с. 4-25; 29-39; 45-46; 51-69; 75-82].

## 7. Терминология дисциплины

Объект надежности (ОН) – множество изделий единого функционального назначения, выполненных по единой технологии и имеющих единую нормативно – техническую документацию (НТД).

Невосстанавливаемый и восстанавливаемый объекты надежности.

Наработка, наработка до отказа (первого), наработка между отказами.

Средняя наработка до отказа (первого), средняя наработка на отказ.

Работоспособное состояние изделия ОН; отказ изделия ОН

Свойства надежности: безотказность, ремонтпригодность (восстанавливаемость), долговечность, сохраняемость

Показатели безотказности невосстанавливаемых ОН: вероятность безотказной работы (функция надежности), вероятность отказа, средняя наработка до отказа, интенсивность отказов, дисперсия наработки до отказа.

Показатели безотказности восстанавливаемых ОН: вероятность ровно «к» отказов в потоке отказов, средняя наработка на отказ, параметр потока отказов, вероятность безотказной работы в интервале наработки.

Свойства потока отказов: стационарность, ординарность, свойство последствия

Показатели ремонтпригодности (восстанавливаемости): вероятность восстановления ОН, среднее время восстановления, интенсивность восстановления, дисперсия времени восстановления.

Комплексные показатели надежности: коэффициент(функция) готовности, функция оперативной готовности, коэффициент технического использования.

Показатели долговечности: средний ресурс, гамма - процентный ресурс, назначенный ресурс; аналогичные показатели-сроки службы в календарных единицах (годы и месяцы).

Понятие структурного резервирования и их виды: общее - раздельное; постоянное – замещением; ненагруженное – нагруженное; невосстанавливаемое – восстанавливаемое

Понятие испытания на надежность, планирование испытаний.

Точечные оценки показателей надежности, эмпирическая функция распределения вероятностей, статистические графики по испытаниям на надежность

Метод максимального правдоподобия для получения достоверных точечных оценок

Интервальные оценки показателей надежности. Доверительные интервал и вероятность.

Квантили и процентные точки вероятностных распределений (хи – квадрат и другие).

Выравнивание статистического ряда, определение закона распределения вероятностей по критерию Пирсона «хи-квадрат».

## **8. Практические занятия по дисциплине (8 часов)**

### **8.1. Занятие №1(2 часа)**

Расчет показателей безотказности невосстанавливаемого объекта надежности.

Производится расчет показателей безотказности НВО: вероятности безотказной работы, средней наработки до отказа, интенсивности отказов и дисперсии наработки до отказа. Расчет включает построение графиков и составление таблиц результатов расчета, обсуждение полученных данных.

Занятие посвящено теме 3.

Для обязательной самостоятельной подготовки к практическому занятию следует проработать материал темы 3.

### **8.2. Занятие №2 (2 часа)**

Расчет показателей ремонтпригодности и долговечности объектов надежности.

На занятии производится расчет показателей ремонтпригодности – вероятности восстановления, среднего времени восстановления и других, а также показателей долговечности (среднего, гамма – процентного и назначенного ресурсов), построение графиков; обсуждение результатов.

Занятие посвящено темам 6 и 8 . Для обязательной самостоятельной подготовки к практическому занятию следует проработать материал тем 6 и 8.

### **8.3. Занятие №3 (2 часа)**

Резервирование транспортного РО.

Термины и классификация структурного резервирования. Расчет показателей безотказности при различных видах структурного резервирования.

Занятие посвящено теме 9. Для обязательной подготовки к практическому занятию следует проработать материал этой темы.



#### **8.4. Занятие №4 (2 часа)**

Испытание на надежность, виды и типы испытаний, планирование испытаний. Получение точечных оценок показателей надежности. Интервальные оценки. Определение закона распределения вероятностей по критерию Пирсона «хи-квадрат».

Занятие посвящено теме 10. Для обязательной подготовки к практическому занятию следует проработать материал этой темы.

**СОДЕРЖАНИЕ**

1. Учебный план дисциплины «Надежность транспортного радиооборудования».....	3
2. Основные сведения о дисциплине.....	3
3. Литература.....	4
4. Электронный адрес кафедры для консультаций.	4
5. Структура дисциплины.....	4
6. Учебная программа дисциплины.....	5
7. Терминология дисциплины.....	15
8. Практические занятия по дисциплине.....	17