МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой Радиотехнические информационные системы
_____ Боев С.Ф.
«__» _____ 20 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

промежуточной аттестации: экзамен
«Надежность радиоэлектронных систем»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Типы задач профессиональной деятельности: проектный, научно-исследовательский.

Разработаны в соответствие с рабочей программой дисциплины, утвержденной проректором по УР Майковой Э.Ю. «21» мая 2020г.,

Разработчик: к.в.н., доцент, профессор каф. РИС_____ В.А. Павлов

Тверь, 20

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

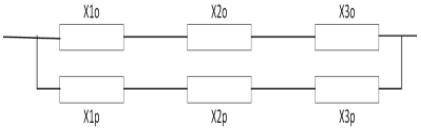
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_1

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Отказы, дефекты и повреждения**.**

Отказ *— событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. При отказе объект полностью или частично перестаёт выполнять заданные функции.*
Дефект *— нарушение работоспособности из-за ошибок при изготовлении деталей. Примерами дефектов могут быть выход размера детали за пределы допуска, неправильная сборка или регулировка аппарата (прибора), царапина на защитном покрытии изделия, недопустимо высокое содержание вредных примесей в продукте, наличие заусенцев на резьбе и т. д.*
Повреждение *— событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.*
Дефект и (или) повреждение могут служить причиной возникновения частичного или полного отказа объекта. Наличие дефекта и (или) повреждения приводит объект в неисправное состояние.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Разработать схему из 3-х невосстанавливаемых систем и оценить надежность общей системы при общем резервировании

Система состоит из трех основных и трех резервных элементов. Резервирование проведено методом общего резервирования. Известны вероятности безотказной работы основных (о) и резервных (р) элементов $p(x_{io})$ *и* $p(x_{ip})$, $i=1\ldots3$.



Вероятность безотказной работы всей системы определяется как:
$Pc= 1-(1- p(x_{1o})\, p(x_{2o})\, p(x_{3o}))\, (1- p(x_{1p})\, p(x_{2p})\, p(x_{3p}))$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
На испытание поставлено 1000 однотипных электронных ламп. За 3000 ч отказало 80 ламп. Требуется определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа электронных ламп в течении 3000 ч.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_2

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Определение понятия "надежность.
Надёжность — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.
Надёжность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его эксплуатации может включать в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости.

Безотказность — это свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения.

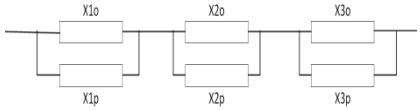
Долговечность — это способность изделия выполнять требуемую функцию до достижения предельного состояния при заданных условиях использования и технического обслуживания.

Ремонтопригодность — это способность изделия при данных условиях использования и технического обслуживания к поддержанию или восстановлению состояния, в котором оно может выполнять требуемую функцию.

Сохраняемость — это свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Разработать схему из 3-х невосстанавливаемых систем и оценить надежность общей системы при раздельном резервировании.

Система состоит из трех основных и трех резервных элементов. Резервирование проведено методом раздельного резервирования. Известны вероятности безотказной работы основных (о) и резервных (р) элементов $p(x_{io})$ и $p(x_{ip})$, i=1…3.



Вероятность безотказной работы всей системы определяется как:
$Pc= (1-(1- p(x_{1o}) (1- p(x_{1p})) (1-(1-p(x_{2o}) (1-p(x_{2p}))(1-(1- p(x_{3o})(1- p(x_{3p}))$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

На испытание поставлено 1000 однотипных ламп. За первые 3000 ч работы отказало 80 ламп, а за интервал от 3000 до 4000 ч отказало еще 50 ламп. Определить интенсивность отказов электронных ламп в промежутке 3000 – 4000 ч работы.

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t+\Delta t) - n(t)}{\overline{N} \times \Delta t} = \frac{50}{\overline{(1000-50)} \times 1000} = 5{,}05\mathrm{e} - 5)$$

где $\overline{N} = N - n(t)$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_3

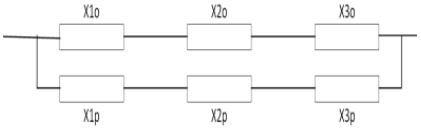
1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Показатели и количественные характеристики надёжности невосстанавливаемых систем.

Основные показатели и количественные характеристики надёжности невосстанавливаемых систем:

- *Вероятность безотказной работы (P(t)). Выражает вероятность того, что невосстанавливаемый объект не откажет к моменту времени наработки t (наработка может быть выражена как календарное время, как время работы, как число циклов работы или в виде другой меры проделанной объектом работы).*
- *Вероятность отказа (Q(t)). Вероятность того, что случайное время до отказа меньше заданного времени t.*
- *Средняя наработка до первого отказа (Tср).*
- *Плотность распределения времени безотказной работы (f(t)). Наиболее полно характеризует надёжность техники в конкретный момент времени.*
- *Интенсивность отказа в момент времени t (λ(t)).*
- *Гамма-процентный ресурс (tγ) — наработка, в течение которой элемент не достигает состояния отказа с вероятностью γ.*

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Разработать схему из 3-х резервированных невосстанавливаемых систем и оценить надежность общей системы, защищенной от одного отказа.

Система состоит из трех основных и трех резервных элементов. Резервирование проведено методом общего резервирования, которое обеспечивает работоспособность системы при отказе одного элемента. Известны вероятности безотказной работы основных (о) и резервных (р) элементов $p(x_{io})$ и $p(x_{ip})$, i=1…3.



Вероятность безотказной работы всей системы определяется как:
$Pc= 1-(1- p(x_{1o})\, p(x_{2o})\, p(x_{3o}))\, (1- p(x_{1p})\, p(x_{2p})\, p(x_{3p}))$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Производилось наблюдение за работой трех экземпляров однотипной аппаратуры. За

период наблюдения было зафиксировано по первому экземпляру 6 отказов, по второму и третьему – 11 и 8 отказов соответственно. Наработка первого экземпляра составила 181ч, второго — 329 ч и третьего 245 ч. Требуется определить наработку аппаратуры на отказ.

Решение. . Определяем суммарную наработку трех образцов аппаратуры:

$$t_{\sum} = \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{nj} t_{ij} = 181 + 329 + 245 = 755$$

час.

2. Определяем суммарное количество отказов:

$$n_{\sum} = \sum_{j=1}^{N} n_j = 6 + 11 + 8 = 25$$

отказов.

3. находим среднюю наработку на отказ

$$\bar{t}_{ср} = \frac{\sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{nj} t_{ij}}{\sum_{j=1}^{N} n_j} = \frac{t_{\sum}}{n_{\sum}} = \frac{755}{25} = 30{,}2 \ \text{час}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_4

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Показатели и количественные характеристики надёжности восстанавливаемых систем.

Основные показатели и количественные характеристики надёжности восстанавливаемых систем:

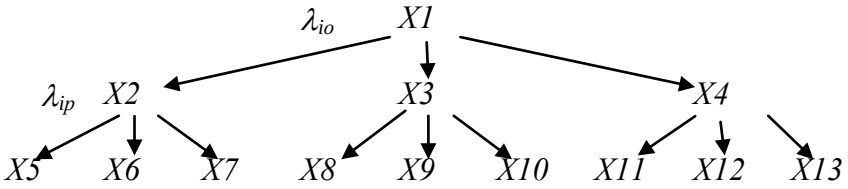
- *Параметр потока отказов. Отношение числа отказавших объектов в единицу времени к числу испытываемых объектов при условии, что все вышедшие из строя изделия заменяются исправными (новыми или отремонтированными).*
- *Наработка на отказ. Среднее значение времени между соседними отказами.*
- *Коэффициент готовности. Вероятность того, что в произвольный заданный момент времени объект находится в состоянии работоспособности.*
- *Коэффициент вынужденного простоя. Отношение времени восстановления к сумме времён наработки на отказ и времени восстановления, взятых за один и тот же календарный срок.*
- *Коэффициент оперативной готовности. Вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.*
- *Коэффициент технического использования. Отношение математического ожидания интервалов времени пребывания системы в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий интервалов времени пребывания системы в работоспособном состоянии, простоев, обусловленных техническим обслуживанием, и ремонтов за тот же период эксплуатации.*

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Исполнить схему из 3-х резервированных невосстанавливаемых систем, разработать и проанализировать ее граф состояний.

Решение справедливо для схемы общего и раздельного резервирования невосстанавливаемых систем из 3-х элементов

Рассмотрим возможные состояния системы:
X1- все элементы работоспособны
X2-отказ x_{1o} (основного) элемента
X3-отказ x_{2o} (основного) элемента
X4-отказ x_{3o} (основного) элемента

X5- после отказа x_{1o} (основного) элемента, отказал x_{1p} (резервный), система неработоспособна
X6- после отказа x_{1o} (основного) элемента, отказал x_{2p} (резервный), система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X7- после отказа x_{1o} (основного) элемента, отказал x_{3p} (резервный) система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X8- после отказа x_{2o} (основного) элемента, отказал x_{2p} (резервный), система неработоспособна
X9- после отказа x_{2o} (основного) элемента, отказал x_{1p} (резервный), система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X10- после отказа x_{2o} (основного) элемента, отказал x_{3p} (резервный), система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X11- после отказа x_{3o} (основного) элемента, отказал x_{3p} (резервный), система неработоспособна
X12- после отказа x_{3o} (основного) элемента, отказал x_{1p} (резервный) система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X13- после отказа x_{3o} (основного) элемента, отказал x_{2p} (резервный), система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании.



Переход системы из одного состояния в другое определяется интенсивностями отказа i-го элемента λi (основного или резервного).

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Система состоит из пяти приборов, причем отказ любого одного из них ведет к отказу системы. Известно, что первый прибор отказал 34 раза в течение 952 ч работы, второй – 24 раза в течение 960 ч работы, а остальные приборы в течение 210 ч работы отказали 4,6 и 5 раз соответственно. Требуется определить наработку до отказа системы в целом, если справедлив экспоненциальный закон надежности для каждого из пяти приборов.

Решение:

Используются следующие соотношения:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i \; ; \qquad t_{cp} = \frac{1}{\lambda_c} \, .$$

Определяется интенсивность отказов для каждого прибора (N = 1):

$$\lambda_i = \frac{n}{N_{cp} \cdot \Delta t} \, ,$$

где Nср – среднее число исправно работающих изделий в интервале Δt.

$$\lambda_1 = \frac{34}{952} = 0{,}0357 \; ч^{-1}; \qquad \lambda_2 = \frac{24}{960} = 0{,}025 \; ч^{-1};$$

$$\lambda_3 = \frac{4}{210} = 0{,}02 \; ч^{-1};$$

$$\lambda_4 = \frac{6}{210} = 0{,}03 \; ч^{-1}; \qquad \lambda_5 = \frac{5}{210} = 0{,}02 \; ч^{-1};$$

или

$$\sum_{i=1}^{n} \lambda_{3...5} = \frac{4+6+5}{210} = 0,0714 \quad ч^{-1};$$

тогда интенсивность отказов системы будет

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^{N} \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_{3...5} = 0,0357 + 0,025 + 0,0714 = 0,132 \quad ч^{-1}.$$

Средняя наработка на отказ системы равна

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda_c} = \frac{1}{0,135} = 7,41 \quad ч$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_5

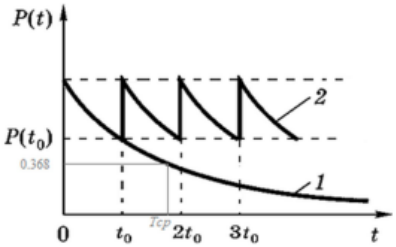
1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Законы распределения времени до отказа (экспоненциальное, нормальное, Вейбула).

Экспоненциальное распределение времени до отказа применяется при постоянной интенсивности отказов, т.е. в период нормальной эксплуатации для описания внезапных отказов. Экспоненциальное распределение является типичным для сложных объектов, состоящих из множества элементов с различными значениями наработки до отказа. Этому закону подчиняются отказы некоторых узлов электрических машин малой мощности, пускорегулирующей аппаратуры, элементов радиоэлектроники – диодов, конденсаторов. Экспоненциальный закон часто применяется для описания времени восстановления и продолжительности ремонтных работ. При λ = const вероятность безотказной работы для интервала времени от момента включения прибора до любого заданного момента t определяется формулой: $P(t) = e^{-\lambda t}$.

Среднее время безотказной работы выражается формулой: $T_0 = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t}\, dt = \frac{1}{\lambda}$

На интервале, превышающем среднее время безотказной работы, P(Tср) будет менее 0,368: $P(T_{cp}) = e^{-1} = 0{,}368$.

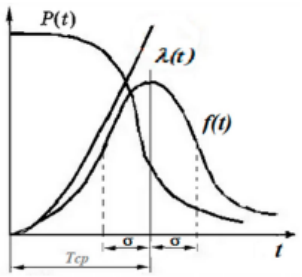
Экспоненциальное распределение интервала безотказной работы означает, что устройство не стареет. Если работоспособный прибор многократно отключают и включают (работа проводится с интервалом t_0), кривая вероятности безотказной работы P(t) будет иметь пилообразную форму



Для некоторых устройств интервал времени работы, на котором допустимо использование экспоненциальной модели, меньше средней наработки, вычисленной для этой модели. Проверить соответствие экспоненциальной модели результатам испытаний можно с помощью равенства: $T_{cp} = \sqrt{D}(T_{cp})$ *, где* $D(T_{cp})$ *- дисперсия времени наработки.*

Нормальный закон распределения используется для описания постепенных отказов, возникающих в период физического износа элементов. Такой закон имеет место, когда отклонение случайной величины создают многие примерно равнозначные по воздействию, независимые (или слабо зависимые) друг от друга факторы. Нормальному распределению подчиняются: наработка на отказ многих восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий; систем автоматического управления; размеры и ошибки измерения деталей; механические характеристики материалов (пределы текучести, прочности, выносливости и т.п.) Вероятность безотказной работы определяется по формуле: $P(t) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_0^t e^{\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma^2}} dt$, *где* Tср, σ *- соответственно математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение случайной величины t.*

Кроме времени, при анализе надежности электроустановок в качестве случайной величины могут выступать значения тока, электрического напряжения и других аргументов.



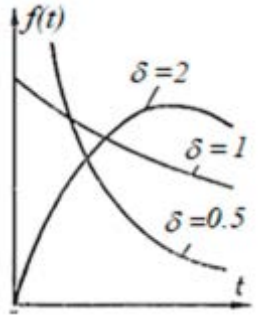
Распределение Вейбулла применяют при эксплуатации электронных и некоторых электромеханических устройств на всем протяжении жизни технических систем: приработка, нормальная эксплуатация и износ. Распределение Вейбулла двухпараметрическое, включающее λ - параметр масштаба, и δ - параметр формы (асимметрии).

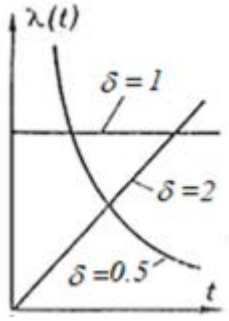
Плотность вероятности момента отказа: $f(t) = \lambda\delta t^{\delta-1} e^{-\lambda t^{\delta}}$

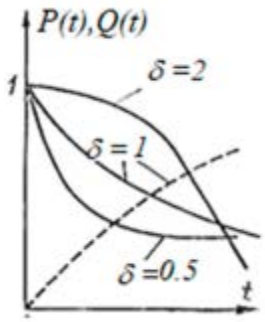
Интенсивность отказов: $\lambda(t) = \lambda\delta t^{\delta-1}$ *При δ>1 интенсивность отказов элементов систем с течением времени монотонно возрастает, а при δ<1 уменьшается, что позволяет использовать данную модель для описания поведения систем на этапах приработки и старения.*

Вероятность безотказной работы: $P(t) = e^{-\lambda t^{\delta}}$

При параметре формы δ = 1 распределение Вейбулла переходит в экспоненциальное, а при δ = 2 – в распределение Рэлея

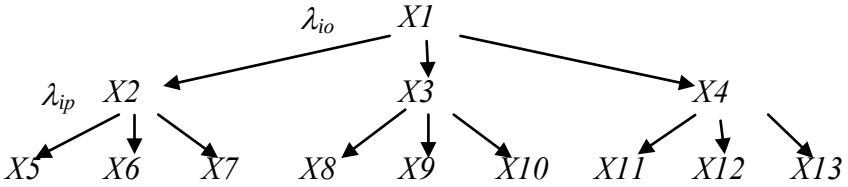






2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Исполнить схему из 3-х резервированных невосстанавливаемых систем, разработать и проанализировать граф ее состояний.

Решение справедливо для схемы общего и раздельного резервирования невосстанавливаемых систем из 3-х элементов
Рассмотрим возможные состояния системы:
X1- все элементы работоспособны
X2-отказ x_{1o} (основного) элемента
X3-отказ x_{2o} (основного) элемента
X4-отказ x_{3o} (основного) элемента
X5- после отказа x_{1o} (основного) элемента, отказал x_{1p} (резервный), система неработоспособна
X6- после отказа x_{1o} (основного) элемента, отказал x_{2p} (резервный), система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X7- после отказа x_{1o} (основного) элемента, отказал x_{3p} (резервный) система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X8- после отказа x_{2o} (основного) элемента, отказал x_{2p} (резервный), система неработоспособна
X9- после отказа x_{2o} (основного) элемента, отказал x_{1p} (резервный), система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X10- после отказа x_{2o} (основного) элемента, отказал x_{3p} (резервный), система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X11- после отказа x_{3o} (основного) элемента, отказал x_{3p} (резервный), система неработоспособна
X12- после отказа x_{3o} (основного) элемента, отказал x_{1p} (резервный) система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании
X13- после отказа x_{3o} (основного) элемента, отказал x_{2p} (резервный), система работоспособна при раздельном и неработоспособна при общем резервировании.



Переход системы из одного состояния в другое определяется интенсивностями отказа i-го элемента λi (основного или резервного).

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
За наблюдаемый период эксплуатации в аппаратуре было зафиксировано 8 отказов. Время восстановления составило t_1 = 12 мин, t_2 = 23 мин, t_3 = 15 мин, t_4 = 9 мин, t_5 = 17 мин, t_6 = 28 мин, t_7 = 25 мин, t_8 = 31 мин. Определить среднее время восстановления.

Решение:

$$t_{ср.в} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{n};$$

$$t_{ср.в} = \frac{12+23+15+9+17+28+25+31}{8} = 20 \text{ мин}$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_6

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Законы распределения времени до отказа (гамма распределение, распределение Рэлея).

Гамма-распределение *— Основным отличием гамма-распределения от других моделей является идея "накапливающихся повреждений", каждое из которых увеличивает степень износа на некоторую постоянную величину. Гамма-распределение можно рассматривать как обобщение экспоненциального распределения для случая, когда отказ происходит при появлении определенного числа событий, появляющихся независимо друг от друга с постоянной интенсивностью.*
Плотность распределения отказов имеет следующий вид:

$$f(t) = \frac{t^{t-1}\lambda^s}{\Gamma(s)} e^{-\lambda t}$$

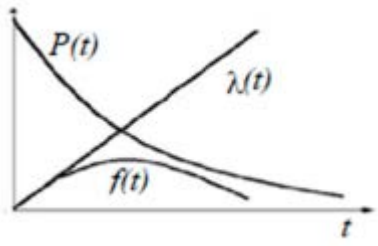
где s - число повреждений, после которого происходит отказ объекта (параметр формы). При параметре формы s=1 гамма-распределение совпадает с экспоненциальным, при s > 1 - с нормальным
Гамма-распределение используется *в теории надёжности при оценке характеристик надёжности компонентов систем и радиоизделий в начальный период эксплуатации, а также при исследовании электромеханических, механических устройств и элементов высоконадёжных систем с интенсивностью отказов, уменьшающейся во времени.*

Распределение Рэлея *характеризуется линейным увеличением интенсивности отказов со временем. Плотность вероятности в законе Рэлея имеет вид:* $f(t) = \lambda^2 t e^{-0,5\lambda^2 t^2}$ *, где* λ *— параметр распределения Рэлея, обратная величина к которому равна моде этого распределения*

Интенсивность отказов равна: $\lambda(t) = \lambda^2 t$
Вероятность безотказной работы устройства определяется выражением

$$P(t) = e^{-0,5\lambda^2 t^2}$$

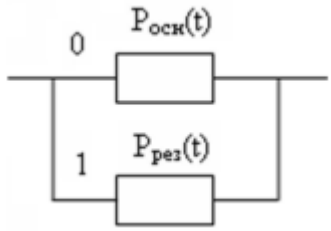
Средняя наработка на отказ: $T_{cp} = \int_0^\infty P(t)dt = \frac{1}{\lambda}\sqrt{\frac{\pi}{2}}$



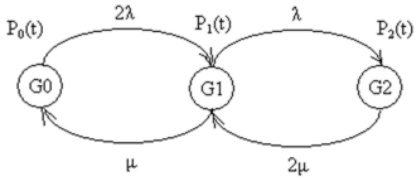
Кривые ВБР, частоты и интенсивности отказов при распределении Рэлея

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Исполнить структурная схема надежности восстанавливаемой системы, в которой используется постоянное общее резервирование и описать ее функционирование с помощью уравнений типа массового обслуживания.



Состояния, в которых может находиться резервированная восстанавливаемая система, отображаются графом состояний



G0 – основная и резервная система работоспособны; G1 – одна из систем отказала, а вторая работоспособна; G2 – основная и резервная системы отказали; резервированная система неработоспособна. Дуге, идущей из состояния G0 в состояние G1, приписано значение 2λ, поскольку в состоянии G0 отказать может как основная, так и резервная система. Дуге, соединяющей состояния G2 с G1, приписано значение 2μ, если обе отказавшие системы восстанавливаются одновременно (работают две ремонтные бригады).

Вероятности нахождения резервированной системы в трех состояниях обозначим через P0(t), P1(t), P2(t). Понятно, что сумма вероятностей будет равна единице. Если вероятности состояний системы в будущем зависят только от ее состояния в настоящем и не зависят от того, когда и как эта система перешла в это состояние, такой случайный дискретный процесс называется марковским.

Марковский случайный процесс описывается системой линейных дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова. Правила составления дифференциальных уравнений для восстанавливаемой резервированной системы по графу состояний следующие:

1) число уравнений равно числу состояний;

2) производная вероятности нахождения системы в определенном состоянии равна сумме такого числа слагаемых, сколько стрелок связано с этим состоянием

3) каждое слагаемое равно произведению интенсивности потока событий, переводящей систему по данной стрелке, на вероятность того состояния, из которого исходит стрелка

4) слагаемое имеет знак «+», если стрелка направлена в данное состояние, и знак «-», если стрелка исходит из него.

Составим систему дифференциальных уравнений для построенного графа

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -2\lambda \cdot P_0(t) + \mu \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_0}{dt} = 2\lambda \cdot P_0(t) - \lambda\mu \cdot P_1(t) + 2\mu \cdot P_2(t) - \mu \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_0}{dt} = \lambda \cdot P_1(t) - 2\mu \cdot P_2(t) \end{cases}$$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Аппаратура имела среднюю наработку на отказ 65 ч и среднее время восстановления 1,25 ч. Требуется определить коэффициент готовности.

Решение: Кг=Т0/(Т0+Тв)=0,98

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

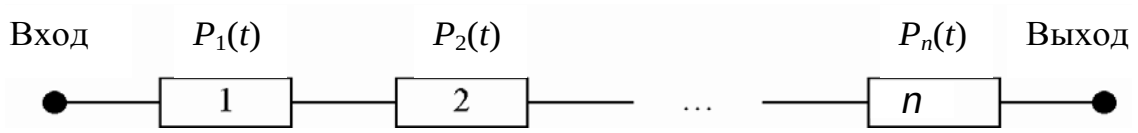
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_7

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Метод анализа надежности последовательно-параллельных невосстанавливаемых систем.

Классические методы расчета надежности включают в себя модели оценки надежности систем с последовательным, параллельным, параллельно-последовательным соединениями элементов, модификации моделей с параллельно-последовательным и произвольным соединением элементов.

Модель с последовательным соединением элементов

При расчетах надежности последовательным называется такое соединение элементов, при котором отказ хотя бы одного из них приводит к отказу всей системы (рис. 2.1). Последовательное соединение в указанном смысле не всегда совпадает с физическим последовательным соединением элементов. Предполагается, что отказы элементов являются независимыми, т. е. отказ любой группы элементов никак не влияет на вероятностные характеристики остальных элементов. Под элементом понимается один из самостоятельных участков последовательного соединения.



. Последовательное соединение элементов

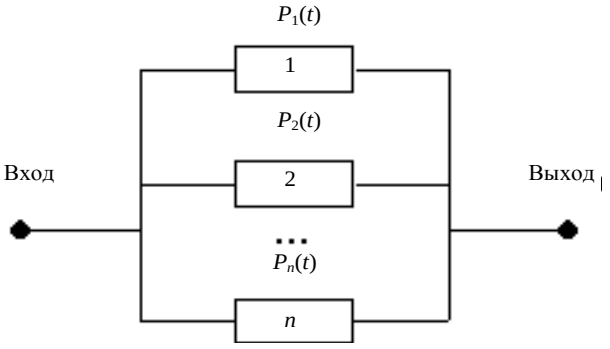
В данном случае вероятность безотказной работы системы можно рассчитать по формуле

$$P_c = \prod_{i=1}^{n} P_i(t),$$

где P_c – вероятность безотказной работы системы; $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i-го элемента системы

Модель с параллельным соединением элементов

При расчетах надежности параллельным, или резервным, называется такое соединение элементов, при котором отказ всей системы происходит при отказе всех элементов системы, т. е. элементы дублируют друг друга (рис. 2.2).



Параллельное соединение элементов

В этом случае показатель вероятность безотказной работы системы P_c определяется через вероятности отказа элементов q_1, q_2, …, q_n, которые связаны с вероятностью безотказной работы соотношениями типа

$$q_i(t) = 1 - P_i(t).$$

Вероятность отказа всей системы

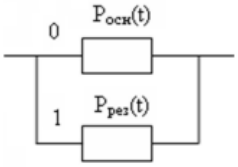
$$Q_c(t) = \prod_{i=1}^{n} q_i(t).$$

Тогда вероятность безотказной работы системы с параллельным соединением элементов q_1, q_2, …, q_n имеет вид:

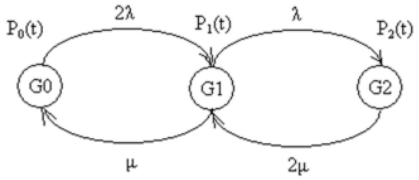
$$P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} q_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - p_i(t)).$$

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Исполнить структурная схема надежности восстанавливаемой системы, в которой используется постоянное общее резервирование и описать ее функционирование с помощью уравнений типа массового обслуживания.



Состояния, в которых может находиться резервированная восстанавливаемая система, отображаются графом состояний



G0 – основная и резервная система работоспособны; G1 – одна из систем отказала, а вторая работоспособна; G2 – основная и резервная системы отказали; резервированная система неработоспособна. Дуге, идущей из состояния G0 в состояние G1, приписано значение 2λ, поскольку в состоянии G0 отказать может как основная, так и резервная система. Дуге, соединяющей состояния G2 с G1, приписано значение 2μ, если обе отказавшие системы восстанавливаются одновременно (работают две ремонтные бригады).

Вероятности нахождения резервированной системы в трех состояниях обозначим через P0(t), P1(t), P2(t). Понятно, что сумма вероятностей будет равна единице. Если вероятности состояний системы в будущем зависят только от ее состояния в

настоящем и не зависят от того, когда и как эта система перешла в это состояние, такой случайный дискретный процесс называется марковским.
Марковский случайный процесс описывается системой линейных дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова. Правила составления дифференциальных уравнений для восстанавливаемой резервированной системы по графу состояний следующие:
1) число уравнений равно числу состояний;
2) производная вероятности нахождения системы в определенном состоянии равна сумме такого числа слагаемых, сколько стрелок связано с этим состоянием
3) каждое слагаемое равно произведению интенсивности потока событий, переводящей систему по данной стрелке, на вероятность того состояния, из которого исходит стрелка
4) слагаемое имеет знак «+», если стрелка направлена в данное состояние, и знак «-», если стрелка исходит из него.
Составим систему дифференциальных уравнений для построенного графа

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -2\lambda \cdot P_0(t) + \mu \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_0}{dt} = 2\lambda \cdot P_0(t) - \lambda\mu \cdot P_1(t) + 2\mu \cdot P_2(t) - \mu \cdot P_1(t) \\ \frac{dP_0}{dt} = \lambda \cdot P_1(t) - 2\mu \cdot P_2(t) \end{cases}$$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Система состоит из 12600 элементов. Интенсивность отказа элемента $\lambda=0{,}32\cdot10^{-6}$ (1/ч). Определить среднее число элементов, которое выйдет из строя через 1000 часов

Решение: Среднее число элементов (n) , которое выйдет из строя через t=1000 часов составит n=N*λ*t=4 элемента

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

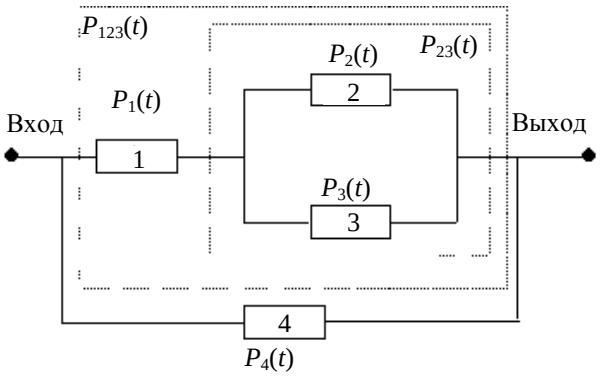
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_8

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Метод расчета надежности сложных последовательно-параллельных невосстанавливаемых систем.

При расчетах надежности параллельно-последовательным называется такое соединение элементов, при котором можно составить структурные схемы участков соединения элементов как с последовательным, так и с параллельным соединением элементов.



Параллельно-последовательное соединение элементов

Для этого вида системы вначале рассчитывается вероятность безотказной работы участка 23:

$$P_{23}(t) = 1 - (1 - P_2(t)) \cdot (1 - P_3(t)),$$

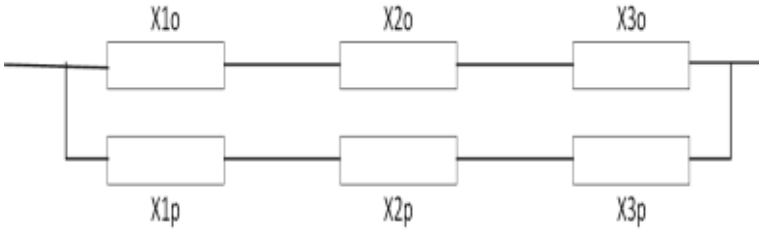
затем участка 123:

$$P_{123}(t) = P_1(t) \cdot P_{23}(t) = P_1(t) \cdot (1 - (1 - P_2(t) \cdot (1 - P_3(t))).$$

Итоговая расчетная формула имеет вид:

$$P_c(t) = 1 - (1 - P_{123}(t)) \cdot (1 - P_4(t)).$$

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Исполнить схему из 3-х резервированных невосстанавливаемых систем и описать ее функционирования с помощью с помощью интегральных уравнений.



Такая резервированная система будет безотказно работать в течение времени (0, t) при *двух возможных событиях*:

- основной элемент не отказал;
- основной элемент отказал в момент $\tau < t$, а резервный элемент проработал безотказно в течение интервала $(\tau - t)$.

Обозначим *вероятность первого события* $p_1(t)$. Очевидно, что вероятность появления отказа основного элемента в течение малого интервала времени $(\tau, \tau + d\,\tau)$ равна

$$\omega_1(\tau)d\,\tau = -p'(\,\tau)d\,\tau,$$

где $\omega_1(\tau)$ – плотность вероятности момента i-го отказа.

Вероятность БР системы при условии, что в момент τ произошел отказ основного элемента и включился резервный, равна $p_2(t - \tau)$.

Таким образом, *вероятность осуществления второго события* на интервале $(\tau, \tau + d\tau)$ равна

$$p_2(t - \tau) \cdot \omega_1(\tau)\, d\,\tau. \qquad (5.1)$$

Интегрируя выражение (5.1) от 0 до t, получим *вероятность осуществления второго события*:

$$p_2(t) = \int_0^t p_2(t - \tau) \cdot \omega_1(\tau) d\tau.$$

Метод интегральных уравнений. Метод интегральных уравнений является наиболее общим, его можно применять при расчете надежности любых (восстанавливаемых и невосстанавливаемых) систем при любых распределениях вероятности безоьказной работы(ВБР) и времени восстановления.

В этом случае для определения показателей надежности системы составляют и решают интегральные и интегро-дифференциальные уравнения, связывающие характеристики распределения ВБР/ В ходе составления интегральных уравнений обычно выделяют один или несколько бесконечно малых интервалов времени, для которых рассматривают сложные события, проявляющие при совместном действии нескольких факторов.

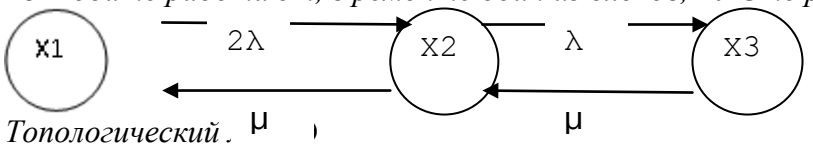
В общем случае решения находят численными методами с помощью компьютера. Метод интегральных уравнений не получил широкого распространения из-за трудности решения

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

РЛС включает в себя приемный и передающий блоки, интенсивность отказов которых одинакова и равна $\lambda=10^{-2}$ (1/ч). Интенсивность восстановления $\mu=2$ (1/ч). Станцию обслуживает один расчет. При неработоспособности любого из блоков станция неработоспособна. При этом работоспособный блок выключается, и в нем не могут происходить отказы. Определить значения коэффициентов готовности и простоя РЛС.

Решение :

X1 – оба работают, РЛС работает
X2 – отказ одного из блоков, ремонтируется один блок, РЛС не работает
X3 – оба не работают, в ремонте один из блоков, РЛС не работает



Топологический

$C1 = d(w32) * d(w21) = \mu 2 = 22 = 4$
$Xq = X3$
$C2 = d(w32) * (-1)(-d(w11)) = \mu * 2\lambda = 2*2*10-2 = 0.04$
$Xq = X2$
$C3 = d(w12) * d(w23) = 2\lambda 2 =2\ (10-2)2 = 0.0002$
$Xq = X1$
$Кг = \frac{C1}{C1+C2+C3} = 0{,}99005$
$Кп = \frac{C2+C3}{C1+C2+C3} = 0{,}00995$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_9

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Этапы применения логико-вероятностного метода анализа надежности структурно-сложных систем.

Метод основан на математическом аппарате алгебры логики. Расчет надежности ИС предполагает определение связи между сложным событием (отказом системы) и событиями, от которых оно зависит (отказами элементов системы). Следовательно, расчеты на надежность основаны на проведении операций с событиями и высказываниями (сложными событиями), в качестве которых принимаются утверждения о работоспособности или отказе элемента (системы). Каждый элемент системы представляется логической переменной, принимающей значение 1 или 0.

События и высказывания при помощи операций дизъюнкции, конъюнкции и отрицания объединяются в логические уравнения, соответствующие условию работоспособности системы, которые называются логическими функциями работоспособности. Расчет, основанный на непосредственном использовании логических уравнений, называется логико-вероятностным и выполняется в семь этапов:

1. Словесная формулировка условий работоспособности объекта. Необходимо описать зависимость работоспособности ИС от состояния ее отдельных элементов.

2. Составление логической функции работоспособности. Данная функция представляет собой логическое уравнение, соответствующее условию работоспособности ИС:

$$F_л = f(x_1, x_2, ..., x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i ,$$

которое выражено в дизъюнктивной форме, например:

$$F_1 = D_1 \vee D_2 = \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}_{D_1} \vee \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_3}_{D_2},$$

где x_i – условие работоспособности i-го элемента $X_i = 1$ – работоспособное состояние; $X_i = 0$ – неработоспособное состо-яние.

3. Приведение логической функции работоспособности $F_л$ к ортогональной бесповторной форме $F_{ло}$. Сложную логическую функцию работоспособности необходимо привести к ортогональной бесповторной форме.

Функция называется ортогональной, если все ее члены D_i попарно ортогональны (т. е. их произведение равно нулю), и бесповторной, если каждый ее член D_i состоит из x_j с разными номерами (т. е. отсутствуют повторяющиеся аргументы). Например: произведение элементарных конъюнкций $x_1 \cdot x_2 \cdot x_4$ и $x_3 \cdot \overline{x}_2$ равно нулю, так как одна из

них содержит x_2, а другая – $\overline{x}_2$, следовательно, они ортогональны. Если же имеется член $D_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_2$, где x_2 и $\overline{x}_2$ имеют один и тот же номер, то член D_1 не является бесповторным.

Ортогональная бесповторная форма:

$$F_{ЛО} = \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot x_4}_{D_1} \vee \underbrace{x_3 \cdot \overline{x}_2}_{D_2}$$

Ортогональная, но не бесповторная форма:

$$F_{ЛО} = x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \vee x_3 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_2$$

Функцию $F_л$ можно преобразовать к ортогональной бесповторной форме $F_{ло}$, используя законы и правила преобразования сложных высказываний. При расчетах следует учитывать правила:

1) $x_1 \vee x_2 = x_2 \vee x_1$;
2) $x_1 \cdot (x_2 \vee x_3) = x_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3$;
3) $x_1 \cdot \overline{x}_1 = 0$;
4) $x_1 \vee 1 = 1$;
5) $x_1 \cdot 1 = 1$;
6) $x_1 \cdot (x_1 \vee x_2 \vee \ldots \vee x_n) = x_1$;
7) $x_1 \vee (x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n) = x_1$;
8) $f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = x_1 \cdot f(1, x_2, \ldots, x_n) \vee \overline{x}_1 \cdot f(0, x_2, \ldots, x_n)$; .

4. Арифметизация $F_{ло}$. По найденной ортогональной бесповторной логической функции работоспособности $F_{ло}$ определяется арифметическая функция F_a):

$$F_{ЛО} = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i,$$

$$F_a = \sum_{i=1}^{s} A_i,$$

где A_i – арифметическая форма членов D_i функции $F_{ло}$.

Арифметизация членов D_i, в общем виде содержащих операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания, осуществляется заменой логических операций арифметическими в соответствии с правилами:

1) $x_1 \wedge x_2 = x_1 \cdot x_2$;
2) $x_1 \vee x_2 = x_1 + x_2 - x_1 \cdot x_2$;
3) $\overline{x} = 1 - x$.

5. Определение вероятности безотказной работы системы.

Вероятность безотказной работы системы устанавливается как вероятность истинности логической функции работоспособности, представленной в ортогональной бесповторной форме, и вычисляется как сумма вероятностей истинности всех ортогональных членов этой функции алгебры логики. Все события (высказывания) заменяются их вероят-ностями (вероятностями безотказной работы соответствующих элементов):

$$P_c(t) = P\{f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i = 1\} = \sum_{i=1}^{S} P\{D_i = 1\}$$

6. Вычисление требуемых показателей надежности ИС по найденному показателю $P_c(t)$:

вероятность отказа $Q_c(t) = 1 - P_c(t)$;

интенсивность отказов $\lambda_c(t) = -\dfrac{\dfrac{dP_c(t)}{dt}}{P_c(t)}$;

средняя наработка до отказа $T_0 = \int_0^\infty P_c(t)dt$.

7. Анализ соответствия полученных показателей надежности заданным техническим требованиям на ИС.

Допущения, принимаемые при логико-вероятностном методе:

1) для элементов системы возможны только два состояния;

2) метод применим только для невосстанавливаемых систем;

3) отказы элементов системы должны быть независимы.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Разработать и обосновать алгоритм установления функции распределения показателей надежности по статистическим данным.

Алгоритм установления функции распределения показателей надёжности по статистическим данным включает следующие этапы:

1. Построение гистограммы по исходным статистическим данным. График статистической плотности распределения случайной величины наиболее наглядно отображает специфические черты закона распределения.

2. Выбор теоретической функции плотности распределения. Выдвигается гипотеза о виде теоретической функции плотности распределения, которая наиболее близко соответствовала бы статистической функции.

3. Проверка согласия теоретических и статистических данных с помощью количественного критерия.

Также для графического определения вида функции можно использовать вероятностную бумагу: полученные экспериментальные данные наносят на лист бумаги, на котором в прямоугольной системе координат нанесена сетка. При этом по оси ординат — шкала, соответствующая функции закона распределения (например, нормального, логарифмически-нормального и т. д.), а по оси абсцисс — линейная или логарифмическая шкала. Если опытные точки располагаются на вероятностной бумаге близко к прямой, то это свидетельствует о соответствии опытных данных тому закону распределения, для которого построена вероятностная бумага.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Система состоит из 12600 элементов. Интенсивность отказа элемента $\lambda=0{,}32\cdot10^{-6}$ (1/ч). Определить среднее количество элементов, которое останется работоспособным через t = 1000 ч.

$P(1000)=\exp(-\lambda t)=\exp(-0{,}32\cdot10^{-6}*1000)=0{,}97$

Среднее количество элементов, которое останется работоспособным через t = 1000 ч

*N(1000)=N0*P(1000)=12222 эл.*

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_10

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Виды эксплуатации радиотехнических систем.

Существует пять видов эксплуатации радиотехнической системы:

1. *Штатная эксплуатация. Это эксплуатация системы по её предназначению в соответствии с нормативными техническими требованиями.*
2. *Опытная эксплуатация. Осуществляется по специальной программе для усовершенствования характеристик и параметров системы с учётом условий эксплуатации.*
3. *Подконтрольная эксплуатация. Это эксплуатация, сопровождаемая дополнительным техническим контролем состояния системы.*
4. *Лидерная эксплуатация. Является разновидностью штатной, но при которой происходит более интенсивное расходование ресурсов.*
5. *Техническая эксплуатация. Характеризуется выполнением комплекса работ, которые направлены на поддержание необходимой степени готовности системы и её элементов*

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Разработать и обосновать блок-схему методики вычисления параметра потока отказов в логико-вероятностных моделях.

Вычисление параметра потока отказов основанно на непосредственном использовании логических уравнений, называется логико-вероятностным и выполняется в семь этапов:

1. Словесная формулировка условий работоспособности объекта. Необходимо описать зависимость работоспособности ИС от состояния ее отдельных элементов.

2. Составление логической функции работоспособности. Данная функция представляет собой логическое уравнение, соответствующее условию работоспособности ИС:

$$F_Л = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i ,$$

которое выражено в дизъюнктивной форме, например:

$$F_1 = D_1 \vee D_2 = \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}_{D_1} \vee \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_3}_{D_2},$$

где x_i – условие работоспособности i-го элемента X_i = 1 – работоспособное состояние;

$X_i = 0$ – неработоспособное состо-яние.

3. Приведение логической функции работоспособности $F_л$ к ортогональной бесповторной форме $F_{ло}$. Сложную логическую функцию работоспособности необходимо привести к ортогональной бесповторной форме.

Функция называется ортогональной, если все ее члены D_i попарно ортогональны (т. е. их произведение равно нулю), и бесповторной, если каждый ее член D_i состоит из x_j с разными номерами (т. е. отсутствуют повторяющиеся аргументы). Например: произведение элементарных конъюнкций $x_1 \cdot x_2 \cdot x_4$ и $x_3 \cdot \overline{x}_2$ равно нулю, так как одна из них содержит x_2, а другая – $\overline{x}_2$, следовательно, они ортогональны. Если же имеется член $D_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_2$, где x_2 и $\overline{x}_2$ имеют один и тот же номер, то член D_1 не является бесповторным.

Ортогональная бесповторная форма:

$$F_{ло} = \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot x_4}_{D_1} \vee \underbrace{x_3 \cdot \overline{x}_2}_{D_2}$$

Ортогональная, но не бесповторная форма:

$$F_{ло} = x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \vee x_3 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_2$$

Функцию $F_л$ можно преобразовать к ортогональной бесповторной форме $F_{ло}$, используя законы и правила преобразования сложных высказываний. При расчетах следует учитывать правила:

9) $x_1 \vee x_2 = x_2 \vee x_1$;

10) $x_1 \cdot (x_2 \vee x_3) = x_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3$;

11) $x_1 \cdot \overline{x}_1 = 0$;

12) $x_1 \vee 1 = 1$;

13) $x_1 \cdot 1 = 1$;

14) $x_1 \cdot (x_1 \vee x_2 \vee \ldots \vee x_n) = x_1$;

15) $x_1 \vee (x_1 \cdot x_2 \cdot \ldots \cdot x_n) = x_1$;

16) $f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = x_1 \cdot f(1, x_2, \ldots, x_n) \vee \overline{x}_1 \cdot f(0, x_2, \ldots, x_n)$; .

4. Арифметизация $F_{ло}$. По найденной ортогональной бесповторной логической функции работоспособности $F_{ло}$ определяется арифметическая функция F_a):

$$F_{ло} = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i,$$

$$F_a = \sum_{i=1}^{s} A_i,$$

где A_i – арифметическая форма членов D_i функции $F_{ло}$.

Арифметизация членов D_i, в общем виде содержащих операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания, осуществляется заменой логических операций арифметическими в соответствии с правилами:

1) $x_1 \wedge x_2 = x_1 \cdot x_2$;

2) $x_1 \vee x_2 = x_1 + x_2 - x_1 \cdot x_2$;

3) $\overline{x} = 1 - x$.

5. Определение вероятности безотказной работы системы.

Вероятность безотказной работы системы устанавливается как вероятность истинности логической функции работоспособности, представленной в ортогональной бесповторной форме, и вычисляется как сумма вероятностей истинности всех

ортогональных членов этой функции алгебры логики. Все события (высказывания) заменяются их вероят-ностями (вероятностями безотказной работы соответствующих элементов):

$$P_c(t) = P\{f(x_1, x_2, ..., x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i = 1\} = \sum_{i=1}^{S} P\{D_i = 1\}$$

6. Вычисление требуемых показателей надежности ИС по найденному показателю $P_c(t)$ определим

средняя наработка до отказа $T_0 = \int_0^{\infty} P_c(t)dt$.

Параметр потока откахов w=1/T0

7. Анализ соответствия полученных показателей надежности заданным техническим требованиям на ИС.

Допущения, принимаемые при логико-вероятностном методе:

1) для элементов системы возможны только два состояния;

2) метод применим только для невосстанавливаемых систем;

3) отказы элементов системы должны быть независимы.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Система состоит из трех блоков, средняя наработка до первого отказа которых равна 160 ч, 320 ч и 600 ч соответственно. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется определить среднюю наработку до первого отказа системы.

Решение:

Согласно экспоненциальному закону P(t)=exp(-λt).

Интенсивность отказов системы:

λср=λ1+λ2+λ3=1/T1+1/T2+1,T3.

Средняя наработка до первого отказа системы:

tср=1/λср=90,6 ч

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_11

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Динамические модели надежности технических систем. Однородный марковский процесс.
Все модели надежности можно разделить на два класса статические и динамические. Статическая модель описывает “надежностное” состояние системы в момент времени t набором работоспособных и неработоспособных элементов. *Эти методы оказываются недостаточными для исследования сложных систем. С точки зрения анализа надежности сложность систем обуславливается следующими факторами:*

1. *наличие нескольких уровней эффективности функционирования (производительности) в работоспособных состояниях и постепенная деградация по эффективности при возникновении неисправностей; состояния неработоспособности могут также различаться по последствиям*
2. *реализация разнообразных способов резервирования (структурного, временного, алгоритмического)*
3. *использование различных стратегий восстановления. Ограничение на ЗИП и число ремонтных бригад.*
4. *применение алгоритмических методов обработки неисправностей (в основном для вычислительных устройств) с классификацией на сбои и отказы*
5. *возможность возникновения нескольких несовместных видов отказов элементов, приводящих при определенной кратности и последовательности возникновения к различным последствиям на системном уровне; наличие скрытых и явных отказов*

отказы по общей причине, индуцированные отказы

Динамические модели надёжности технических систем — это модели, в которых происходящие события (отказы, восстановление) рассматриваются как процессы, развивающиеся во времени.

В рамках динамических моделей применяются:

- *моделирование систем марковскими и полумарковскими процессами;*
- *методы теории восстановления, полумарковских и регенерирующих процессов;*
- *статистическое имитационное моделирование (Монте Карло).*

Динамические модели позволяют вычислять все основные показатели надёжности невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем: мгновенные, интервальные (вероятность безотказной работы (отказа) на интервале времени), независящие от времени стационарные показатели (средняя наработка между отказами, среднее время простоя и др.).

Однородный марковский процесс — это динамическая модель надёжности технических систем, в которой интенсивности переходов между состояниями постоянны и не зависят от времени.

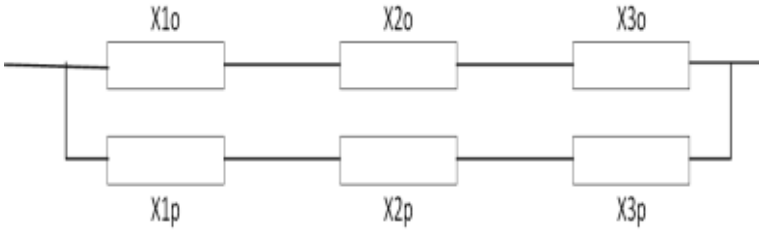
Такие процессы являются основным аппаратом исследования надёжности сложных систем с восстановлением, так как позволяют получать аналитические выражения или конструктивные вычислительные схемы для расчёта различных показателей надёжности.

Построение марковских моделей надежности происходит следующим образом. На основе информации о структуре и принципах функционирования исследуемой системы определяется множество ее возможных состояний. Это множество разделяется на два подмножества – работоспособных состояний и состояний отказа. Далее строится марковский граф переходов, вершинами которого являются состояния системы, а ребрами – возможные переходы между состояниями. Интенсивности переходов определяются характеристиками безотказности и ремонтопригодности элементов системы. По графу переходов составляется необходимая система уравнений, аналитическое решение которой позволяет получить формульные выражения для требуемых показателей надежности. Если решение системы возможно только численными методами, то получают численные значения показателей надежности в заданные моменты времени.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

Исполнить схему из 3-х резервированных невосстанавливаемых систем и описать ее функционирования с помощью с помощью интегральных уравнений.

Исполнить схему из 3-х резервированных невосстанавливаемых систем и описать ее функционирования с помощью с помощью интегральных уравнений.



Такая резервированная система будет безотказно работать в течение времени (0, t) при *двух возможных событиях*:

- основной элемент не отказал;
- основной элемент отказал в момент $\tau < t$, а резервный элемент проработал безотказно в течение интервала ($\tau - t$).

Обозначим *вероятность первого события* $p_1(t)$. Очевидно, что вероятность появления отказа основного элемента в течение малого интервала времени (τ, $\tau + d\,\tau$) равна

$$\omega_1(\tau)d\,\tau = -p'(\,\tau)d\,\tau,$$

где $\omega_1(\tau)$ – плотность вероятности момента i-го отказа.

Вероятность БР системы при условии, что в момент τ произошел отказ основного элемента и включился резервный, равна $p_2(t - \tau)$.

Таким образом, *вероятность осуществления второго события* на интервале (τ, $\tau + d\tau$) равна

$$p_2(t - \tau) \cdot \omega_1(\tau)\, d\,\tau. \qquad (5.1)$$

Интегрируя выражение (5.1) от 0 до t, получим *вероятность осуществления второго события*:

$$p_2(t) = \int_0^t p_2(t - \tau) \cdot \omega_1(\tau) d\tau.$$

Метод интегральных уравнений. Метод интегральных уравнений является наиболее общим, его можно применять при расчете надежности любых (восстанавливаемых и невосстанавливаемых) систем при любых распределениях вероятности безоьказной работы(ВБР) и времени восстановления.

В этом случае для определения показателей надежности системы составляют и решают интегральные и интегро-дифференциальные уравнения, связывающие характеристики распределения ВБР/ В ходе составления интегральных уравнений обычно выделяют один или несколько бесконечно малых интервалов времени, для которых рассматривают сложные события, проявляющие при совместном действии нескольких факторов.

В общем случае решения находят численными методами с помощью компьютера. Метод интегральных уравнений не получил широкого распространения из-за трудности решения

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Система состоит из двух устройств. Вероятности безотказной работы каждого из них в течение времени t = 100 ч равны: $P_1(100)$ = 0,95; $P_2(100)$ = 0,97. Справедлив экспоненциальный закон распределения надежности. Необходимо найти среднюю наработку до первого отказа системы.

Решение:

Определяется вероятность безотказной работы изделия:

$$P_c(100) = p_1(100) \times p_2(100) = 0,95 \times 0,97 = 0,92.$$

Определяется интенсивность отказов изделия по формуле

Pc(100)=exp(-λc100)

*λcp=8,3*10*$^{-4}$

*Tcp=1/λ=1,2*10*$^{-4}$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_12

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Модели надежности программного обеспечения. Модель Джелински – Моранды.

Математические модели надежности программных средств, по аналогии с моделями надежности технических, можно разделить на две группы:
модели ошибок программных средств (программ) – описывают процессы возникновения ошибок и характеризуют, как правило, одно свойство надежности программного средства – безошибочность (корректность). Модели ошибок можно разделить на эмпирические, статистические и графовые (структурные);
модели надежности программных средств (программ) – описывают процессы не только возникновения ошибок, но и их устранения. В этом случае модели характеризуют несколько частных свойств надежности, таких как безотказность, устойчивость и восстанавливаемость, а в ряде случаев и исправляемость. Модели надежности объединяются в одну группу – вероятностные модели.

Наиболее простой из вероятностных моделей надежности программ является модель Джелински – Моранды. В ней приняты допущения:

1. Время от предыдущего отказа до следующего распределено по экспоненциальному закону:

$$P(\tau_i) = e^{-\lambda_{ош_i}\tau_i}.$$

2. Интенсивность ошибок программы пропорциональна количеству оставшихся в программе ошибок:

$$\lambda_{ош_i} = K_м \cdot (N_{ош} - n_{ош}(t))$$

где $N_{ош}$ – первоначальное количество ошибок в программе;
$n_{ош}(t)$ – число обнаруженных за время t ошибок;
$K_м$ – коэффициент пропорциональности модели, характеризующий скачок функции $\lambda(\tau)$.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Получить формулу для вероятности безотказной работы мажоритарной системы, состоящей из элементов разной надежности при n=5, m = 2.

Мажоритарную систему типа “m из n” можно рассматривать как вариант системы с параллельным соединением элементов, отказ которой произойдет, если из n элементов,

соединенных параллельно, работоспособными окажутся менее m элементов (m < n).

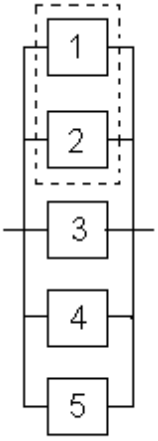


Рис. 3.1 Система "2 из 5"

3. Для расчета надежности систем типа “m из n“ при сравнительно небольшом количестве элементов можно воспользоваться методом прямого перебора. Он заключается в определении работоспособности каждого из возможных состояний системы, которые определяются различными сочетаниями работоспособных и неработоспособных состояний элементов.

4. Все состояния системы “2 из 5“ занесены в таблицегде работоспособные состояния элементов и системы отмечены знаком “+“, неработоспособные - знаком “-“).

N состояния	*Состояние элементов*					*Состояние системы*	*Вероятность состояния системы*
	1	*2*	*3*	*4*	*5*		
1	+	+	+	+	+	+	p^5
2	+	+	+	+	-	+	$p^4q^1 = p^4(1-p)$
3	+	+	+	-	+	+	
4	+	+	-	+	+	+	
5	+	-	+	+	+	+	
6	-	+	+	+	+	+	
7	+	+	+	-	-	+	$p^3q^2 = p^3(1-p)^2$
8	+	+	-	+	-	+	
9	+	-	+	+	-	+	
10	-	+	+	+	-	+	
11	+	+	-	-	+	+	
12	+	-	+	-	+	+	
13	-	+	+	-	+	+	
14	+	-	-	+	+	+	
15	-	+	-	+	+	+	
16	-	-	+	+	+	+	
17	+	+	-	-	-	+	$p^2q^3 = p^2(1-p)^3$
18	+	-	+	-	-	+	
19	-	+	+	-	-	+	
20	+	-	-	-	+	+	
21	-	+	-	-	+	+	
22	-	-	-	+	+	+	
23	+	-	-	+	-	+	

N состояния	*Состояние элементов*					*Состояние системы*	*Вероятность состояния системы*
	1	*2*	*3*	*4*	*5*		
24	-	+	-	+	-	+	
25	-	-	+	-	+	+	
26	-	-	+	+	-	+	
27	+	-	-	-	-	-	$p^1q^4 = p^1(1-p)^4$
28	-	+	-	-	-	-	
29	-	-	+	-	-	-	
30	-	-	-	+	-	-	
31	-	-	-	-	+	-	
32	-	-	-	-	-	-	$q^5 = (1-p)^5$

5. Для данной системы работоспособность определяется лишь количеством работоспособных элементов. По теореме умножения вероятностей вероятность любого состояния определяется как произведение вероятностей состояний, в которых пребывают элементы . Например, в строке 9 описано состояние системы, в которой отказали элементы 2 и 5, а остальные работоспособны. При этом условие "2 из 5" выполняется, так что система в целом работоспособна. Вероятность такого состояния

$$P_9 = p_1 q_2 p_3 p_4 q_5 = p^3 q^2$$

(предполагается, что все элементы равнонадежны). С учетом всех возможных состояний вероятность безотказной работы системы может быть найдена по теореме сложения вероятностей всех работоспособных сочетаний. Поскольку количество неработоспособных состояний меньше, чем работоспособных (соответственно 6 и 26), проще вычислить вероятность отказа системы. Для этого суммируются вероятности неработоспособных состояний (где не выполняется условие " 2 из 5 ")

$$Q = P_{32} + P_{27} + P_{28} + P_{29} + P_{30} + P_{31} = q^5 + 5pq^4 =$$

$$= (1-p)^5 + 5p(1-p)^4 = 1 - 10p^2 + 20p^3 - 15p^4 + 4p^5.$$

Тогда вероятность безотказной работы системы

$$P = 1 - q = 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 - 4p^5.$$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Вероятность безотказной работы одного элемента в течение времени t равна $P(t)$=0,9997. Требуется определить вероятность безотказной работы системы, состоящей из N= 100 таких элементов.

Решение

Если у всех элементов системы одинаковая надежность, то

$$P_c(t) = p^N(t) = (0{,}9997)^{100} = 0{,}9704.$$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_13

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Модели надежности программного обеспечения. Статистическая модель Миллса.
Модели надёжности программного обеспечения (ПО) можно разделить на две основные группы:

1. *Эмпирические модели. Предназначены для оценки сложности ПО. Оценивают множество характеристик, таких как длина программы, информационное содержание, число подсистем, число операторов, сложность интерфейса и т. п.. Примером эмпирической модели может быть модель Холстеда, которая оценивает количество оставшихся в программе ошибок после окончания её разработки.*
2. *Аналитические модели. Дают возможность рассчитать количественные показатели надёжности, основываясь на данных о поведении программы в процессе тестирования. Аналитические модели разделяются на статические и динамические.*

Некоторые динамические модели:

- *Модель Шумана. Данные для модели собираются в процессе тестирования ПО в течение фиксированных или случайных временных интервалов.*
- *Модель LaPadula. По этой модели выполнение последовательности тестов производится в несколько этапов, каждый из которых заканчивается внесением изменений (исправлений) в ПО.*
- *Модель Шика-Волвертона. Модель для случая возникновения на рассматриваемом интервале более одной ошибки, при этом считается, что исправление ошибок производится лишь после истечения интервала времени, на котором они возникли.*
- *Модель Джелинского-Маранды. В процессе тестирования ПО значение интервалов времени тестирования между обнаружением двух ошибок имеет экспоненциальное распределение с интенсивностью отказов, пропорциональной числу ещё не выявленных ошибок (каждая обнаруженная ошибка устраняется, число оставшихся ошибок уменьшается на единицу).*
- *Модель Муса. Модель предполагает, что в процессе тестирования фиксируется время выполнения программы до очередного отказа.*
- *Модель переходных вероятностей. Предполагается, что в процессе тестирования выявляется по одной ошибке.*

Некоторые статические модели:

- *Модель Миллса. Использование этой модели предполагает необходимость перед началом тестирования искусственно «засорять» программу, то есть вносить в неё некоторое количество известных ошибок.*

- *Модель Липова. В модели предполагается, что собственные и искусственные ошибки имеют равную вероятность быть найденными.*
- *Простая интуитивная модель. Использование этой модели предполагает проведение тестирования двумя группами программистов, использующими независимые тестовые наборы, независимо одна от другой (в процессе тестирования каждая из групп фиксирует все найденные ею ошибки, и при оценке числа оставшихся в программе ошибок результаты тестирования обеих групп собираются и сравниваются).*
- *Модель Коркорэна. В этой модели не используются параметры времени тестирования и учитывается только результат испытаний, в которых выявлено N ошибок i-го типа.*
- *Модель Нельсона. Данная модель при расчёте надёжности ПО учитывает вероятность выбора определённого тестового набора для очередного выполнения программы.*

Эмпирические модели базируются на анализе структурных особенностей программ. Они часто не дают конкретных значений параметров надёжности программы. При этом их использование считается полезным на этапе проектирования программ для прогнозирования ресурсов тестирования.

Статистическая модель Миллса — способ оценки количества ошибок в программном коде, созданный в 1972 году программистом Харланом Миллсом.

Использование модели предполагает следующую последовательность действий:

1. В исходную программу перед тестированием вносится L ошибок, наиболее характерных для данного класса задач и уровня квалификации программистов, написавших её.

2. Тестирование проводит другая группа программистов, которая не знает ни количества, ни характера внесённых ошибок до момента оценки показателей надёжности по модели Миллса.

3. Она находит внесённые ошибки, а заодно и некоторые из собственных ошибок программы, и по этим данным определяет количество ошибок, присутствовавших в программе перед началом тестирования (N), и меру доверия к полученному результату (C).

Предполагается, что вероятность нахождения всех ошибок (как изначально присутствовавших в программе, так и искусственно внесённых) одинакова.

Достоинством модели Миллса является простота применяемого математического аппарата и наглядность. Однако она не лишена и ряда недостатков, самые существенные из которых — это необходимость внесения искусственных ошибок (этот процесс плохо формализуем) и достаточно вольное допущение величины K, которое основывается исключительно на интуиции и опыте человека, проводящего оценку, то есть допускается большое влияние субъективного фактора

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

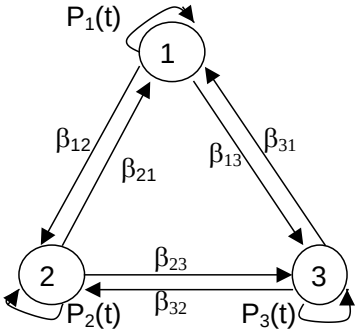
Записать систему уравнений Колмогорова для графа системы из 2-х резервированных восстанавливаемых систем.

Вероятностный граф состояний системы имеет следующие состояния:

1. Работают оба элемента системы.

2. Отказ одного из элементов.

3. Отказ двух элементов.



Вероятностный граф состояний системы

Если заданы вероятности перехода системы из состояния i в состояние j β_{ij}, то можно определить вероятности нахождения системы в i-м состоянии $P_i(t)$, а значит и показатели надежности, составляя и решая уравнение Колмогорова – Смирнова.

Производная от вероятности нахождения системы в i-том состоянии равна алгебраической сумме произведений интенсивностей перехода на вероятности соответствующих состояний. Тем произведениям, которым соответствуют уходящие из данного состояния стрелки, приписывают знак "-", а входящим – "+".

Таким образом, для данного примера системы имеем:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_1(t)}{dt} = -(\beta_{12}+\beta_{13})P_1(t) + \beta_{21}P_2(t) + \beta_{31}P_{3(t)}, \\ \dfrac{dP_2(t)}{dt} = \beta_{12}P_1(t) - (\beta_{21}+\beta_{23})P_2(t) + \beta_{32}P_3(t), \\ \dfrac{dP_3(t)}{dt} = \beta_{13}P_1(t) + \beta_{23}P_2(t) - (\beta_{31}+\beta_{32})P_3(t), \\ P_1(t)+P_2(t)+P_3(t) = 1. \end{cases}$$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Изделие состоит из $N = 3$ групп приборов. Отказы первой группы подчинены экспоненциальному закону с интенсивностью отказов $\lambda = 0{,}2\cdot10^{-3}$(1/ч). Отказы приборов второй группы – закону Релея с параметром $\sigma = 1000$ ч и отказы приборов третьей группы – закону Вейбулла с параметрами $\lambda = 0{,}1\cdot10^{-4}$ (1 /ч) и $k = 1{,}5$. Требуется определить вероятность безотказной работы изделия в течение времени $t = 500$ часов.

Решение
P1(500)=0,95
P1(500)=0,883
P1(500)=0,895
Pc(500)= P1(500) P2(500) P3(500)=0б716

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_14

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Классификация видов резервирования. Выбор вида резервирования.

Классификация видов резервирования:

1. *По схеме включения резерва:*
   - *Общее резервирование, при котором резервируется объект в целом.*
   - *Раздельное резервирование, при котором резервируются отдельные элементы или их группы.*
   - *Смешанное резервирование, при котором различные виды резервирования сочетаются в одном объекте.*
2. *По способу включения резерва:*
   - *Постоянное резервирование, без перестройки структуры объекта при возникновении отказа его элементов.*
   - *Динамическое резервирование, при котором при отказе элемента происходит перестройка структуры системы.*
3. *По состоянию резерва:*
   - *Нагруженное (горячее резервирование), при котором резервные элементы или один из них постоянно присоединены к основным и находятся в одинаковом с ними режиме работы.*
   - *Облегчённое резервирование, при котором резервные элементы (по крайней мере один из них) находятся в менее нагруженном режиме по сравнению с основными и вероятность их отказа в этот период мала. 2*
   - *Ненагруженное (холодное резервирование), при котором резервные элементы до начала выполнения ими функций находятся в ненагруженном режиме.*

   Выбор вида резервирования определяется условиями применения системы, ограничениями на совокупные затраты на средства повышения надёжности, требованиями к другим техническим характеристикам (габариты, вес, энергопотребление, эксплуатационные расходы) и другими факторами.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Разработать схему из 3-х резервированных невосстанавливаемых систем и оценит надежность общей системы, защищенной от двух отказов.

Защита от двух отказов может быть обеспечена, например, путём четырёхкратного резервирования. Например, такой подход используется в некоторых самолётах и космических аппаратах.

Также защита от двух отказов предусмотрена в RAID-массивах. В базовой схеме расположения RAID 6 могут присутствовать четыре диска данных и два диска чётности, обеспечивающих защиту лишь от двух отказов дисков.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Наработка изделия до отказа подчиняется закону распределения Вейбулла с параметрами $\lambda = 0{,}1 \cdot 10^{-5}$ (1/ч), $k = 2$. Определить вероятность безотказной работы изделия за 200 часов работы.

Решение.

$p(t)=\exp(-\lambda t^{\lambda})$; $p(200)=\exp(-0{,}1*10^{-5}*200^{2})$;

$p(200)=e^{-0{,}04}=0{,}96$.

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

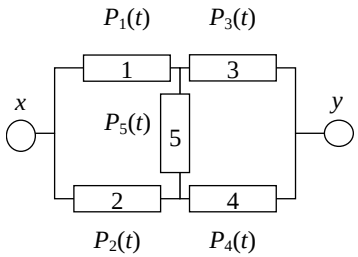
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_15

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Метод анализа надежности восстанавливаемых систем с основным соединением элементов.

Один из методов анализа надёжности восстанавливаемых систем с основным соединением элементов — метод разложения относительно особого элемента. Он основан на использовании формулы полной вероятности. В сложной системе одни и те же элементы обеспечивают различные варианты работы системы, и модель их соединения не сводится к последовательному или параллельному соединениям. К данному классу относятся системы с мостовыми и более сложными соединениями элементов.



Пример мостового соединения элементов

Для безотказной работы такой системы на заданном интервале [0, t] необходима безотказная работа одной из комбинаций элементов:

1, 2, 3, 4, 5;
1, 2, 3, 4;
1, 4, 5;
2, 3, 5;
1, 3;
2, 4.

Эту задачу можно решить классическими методами, но надежность систем данного класса лучше оценивать логико-вероятностным методом, используя аппарат алгебры логики. Метод основан на математическом аппарате алгебры логики. Расчет надежности ИС предполагает определение связи между сложным событием (отказом системы) и событиями, от которых оно зависит (отказами элементов системы). Следовательно, расчеты на надежность основаны на проведении операций с событиями и высказываниями (сложными событиями), в качестве которых принимаются

утверждения о работоспособности или отказе элемента (системы). Каждый элемент системы представляется логической переменной, принимающей значение 1 или 0.

События и высказывания при помощи операций дизъюнкции, конъюнкции и отрицания объединяются в логические уравнения, соответствующие условию работоспособности системы, которые называются логическими функциями работоспособности. Расчет, основанный на непосредственном использовании логических уравнений, называется логико-вероятностным и выполняется в семь этапов:

1. Словесная формулировка условий работоспособности объекта. Необходимо описать зависимость работоспособности ИС от состояния ее отдельных элементов.

2. Составление логической функции работоспособности. Данная функция представляет собой логическое уравнение, соответствующее условию работоспособности ИС:

$$F_л = f(x_1, x_2, ..., x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i ,$$

которое выражено в дизъюнктивной форме, например:

$$F_1 = D_1 \vee D_2 = \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3}_{D_1} \vee \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_3}_{D_2},$$

где x_i – условие работоспособности i-го элемента $X_i = 1$ – работоспособное состояние; $X_i = 0$ – неработоспособное состо-яние.

3. Приведение логической функции работоспособности $F_л$ к ортогональной бесповторной форме $F_{ло}$. Сложную логическую функцию работоспособности необходимо привести к ортогональной бесповторной форме.

Функция называется ортогональной, если все ее члены D_i попарно ортогональны (т. е. их произведение равно нулю), и бесповторной, если каждый ее член D_i состоит из x_j с разными номерами (т. е. отсутствуют повторяющиеся аргументы). Например: произведение элементарных конъюнкций $x_1 \cdot x_2 \cdot x_4$ и $x_3 \cdot \overline{x}_2$ равно нулю, так как одна из них содержит x_2, а другая – $\overline{x}_2$, следовательно, они ортогональны. Если же имеется член $D_1 = x_1 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_2$, где x_2 и $\overline{x}_2$ имеют один и тот же номер, то член D_1 не является бесповторным.

Ортогональная бесповторная форма:

$$F_{ло} = \underbrace{x_1 \cdot x_2 \cdot x_4}_{D_1} \vee \underbrace{x_3 \cdot \overline{x}_2}_{D_2}$$

Ортогональная, но не бесповторная форма:

$$F_{ло} = x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \vee x_3 \cdot x_2 \cdot \overline{x}_2$$

Функцию $F_л$ можно преобразовать к ортогональной бесповторной форме $F_{ло}$, используя законы и правила преобразования сложных высказываний. При расчетах следует учитывать правила:

17) $x_1 \vee x_2 = x_2 \vee x_1$;

18) $x_1 \cdot (x_2 \vee x_3) = x_1 \cdot x_2 \vee x_1 \cdot x_3$;

19) $x_1 \cdot \overline{x}_1 = 0$;

20) $x_1 \vee 1 = 1$;

21) $x_1 \cdot 1 = 1$;

22) $x_1 \cdot (x_1 \vee x_2 \vee ... \vee x_n) = x_1$;

23) $x_1 \vee (x_1 \cdot x_2 \cdot ... \cdot x_n) = x_1$;

24) $f(x_1, x_2, ..., x_n) = x_1 \cdot f(1, x_2, ..., x_n) \vee \overline{x}_1 \cdot f(0, x_2, ..., x_n)$; .

4. Арифметизация $F_{ло}$. По найденной ортогональной бесповторной логической функции работоспособности $F_{ло}$ определяется арифметическая функция F_a):

$$F_{ЛО} = f(x_1, x_2, ..., x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i,$$

$$F_a = \sum_{i=1}^{S} A_i,$$

где A_i – арифметическая форма членов D_i функции $F_{ло}$.

Арифметизация членов D_i, в общем виде содержащих операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания, осуществляется заменой логических операций арифметическими в соответствии с правилами:

1) $x_1 \wedge x_2 = x_1 \cdot x_2$;

2) $x_1 \vee x_2 = x_1 + x_2 - x_1 \cdot x_2$;

3) $\overline{x} = 1 - x$.

5. Определение вероятности безотказной работы системы.

Вероятность безотказной работы системы устанавливается как вероятность истинности логической функции работоспособности, представленной в ортогональной бесповторной форме, и вычисляется как сумма вероятностей истинности всех ортогональных членов этой функции алгебры логики. Все события (высказывания) заменяются их вероят-ностями (вероятностями безотказной работы соответствующих элементов):

$$P_c(t) = P\{f(x_1, x_2, ..., x_n) = \bigvee_{i=1}^{S} D_i = 1\} = \sum_{i=1}^{S} P\{D_i = 1\}$$

6. Вычисление требуемых показателей надежности ИС по найденному показателю $P_c(t)$:

вероятность отказа $Q_c(t) = 1 - P_c(t)$;

интенсивность отказов $\lambda_c(t) = -\dfrac{\dfrac{dP_c(t)}{dt}}{P_c(t)}$;

средняя наработка до отказа $T_0 = \int_0^{\infty} P_c(t)dt$.

7. Анализ соответствия полученных показателей надежности заданным техническим требованиям на ИС.

Допущения, принимаемые при логико-вероятностном методе:

1) для элементов системы возможны только два состояния;

2) метод применим только для невосстанавливаемых систем;

3) отказы элементов системы должны быть независимы.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:

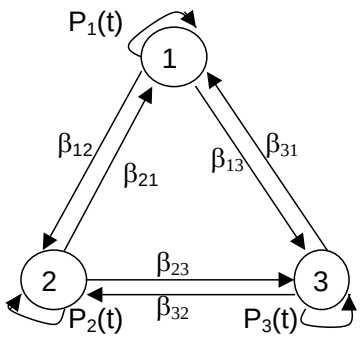
Записать систему уравнений Колмогорова для графа, системы из 2-х резервированных невосстанавливаемых систем.

Вероятностный граф состояний системы имеет следующие состояния:

1. Работают оба элемента системы.

2. Отказ одного из элементов.

3. Отказ двух элементов.



Вероятностный граф состояний системы

Если заданы вероятности перехода системы из состояния i в состояние j β_{ij}, то можно определить вероятности нахождения системы в i-м состоянии $P_i(t)$, а значит и показатели надежности, составляя и решая уравнение Колмогорова – Смирнова. Производная от вероятности нахождения системы в i-том состоянии равна алгебраической сумме произведений интенсивностей перехода на вероятности соответствующих состояний. Тем произведениям, которым соответствуют уходящие из данного состояния стрелки, приписывают знак "-", а входящим – "+".

Таким образом, для данного примера системы имеем:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_1(t)}{dt} = -(\beta_{12}+\beta_{13})P_1(t) + \beta_{21}P_2(t) + \beta_{31}P_{3(t)}, \\ \dfrac{dP_2(t)}{dt} = \beta_{12}P_1(t) - (\beta_{21}+\beta_{23})P_2(t) + \beta_{32}P_3(t), \\ \dfrac{dP_3(t)}{dt} = \beta_{13}P_1(t) + \beta_{23}P_2(t) - (\beta_{31}+\beta_{32})P_3(t), \\ P_1(t)+P_2(t)+P_3(t) = 1. \end{cases}$$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Вероятность безотказной работы преобразователя постоянного тока в переменный в течение t=1000 ч равна 0,95. Для повышения надежности системы электроснабжения на объекте имеется такой же преобразователь, который включается в работу при отказе первого. Требуется рассчитать вероятность безотказной работы и среднюю наработку до первого отказа системы, состоящей из двух преобразователей.

Из условия задачи видно, что имеет место общее резервирование с замещением кратности m=1. Тогда

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t}\sum_{i=0}^{m}\frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda_0 \cdot t}(1+\lambda_0 t),$$

Из условия задачи $e^{-\lambda_0 \cdot t} = 0{,}95$*, тогда,* $\lambda_0 t \approx 0{,}05$*. Подставляя значения P(1000) и полученное значение* $\lambda_0 t$ *в выражение для* $P_c(t)$*, получим:*

$$P_c(t) = e^{-\lambda_0 t}(1+\lambda_0 t) \approx 0{,}95(1+0{,}05) = 0{,}9975$$

Средняя наработка до первого отказа системы на основании формулы будет

$$T_{ср.с} = T_{ср.о}(m+1) = 2T_{ср.о}.$$

Так как в течение времени t=1000 час $\lambda_0 t \approx 0{,}05$ *, то* $\lambda_0 = \frac{0{,}05}{t} = \frac{0{,}05}{1000} = 0{,}5 \cdot 10^{-4}$ *1/час, а средняя наработка до первого отказа нерезервированного преобразователя*

$$T_{сро} = \frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{0{,}5 \cdot 10^{-4}} = 20000_{час}$$

Тогда средняя наработка до первого отказа резервированной системы будет $T_{сро} = 2T_{сро} = 40000_{час}$

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_16

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Методы анализа резервированных восстанавливаемых систем при произвольных законах распределения отказов и восстановлений. Дублированная система с ненагруженным резервом.

Для анализа резервированных восстанавливаемых систем при произвольных законах распределения отказов и восстановлений используются различные методы, например:

- *Классические методы теории надёжности. К ним относятся методы математического и функционального анализа, теории вероятностей и математической статистики, теории дифференциальных уравнений в частных производных, теории интегральных уравнений, теории графов, теории оптимизации и принятия решений, теории возможностей.*
- *Имитационное моделирование. Позволяет исследовать надёжность системы, определяемую как стационарную вероятность безотказной работы системы, а также получить оценки характеристик надёжности системы.*
- *Логико-вероятностный подход. Основан на представлении отказов и восстановлений системы как случайных бинарных событий. Для этого требуется информация о законах распределений времени наработки до отказа и времени восстановления каждого элемента.*

Для анализа дублированной системы с ненагруженным резервом можно использовать метод фазового укрупнения состояний. Например, если время безотказной работы всех элементов системы имеет одинаковый порядок, а длительности их восстановления бесконечно малы по сравнению с ними, то все рабочие и отказовые состояния могут быть объединены в одно рабочее и одно отказовое, соответственно, и процесс, описывающий поведение системы, будет приближаться к марковскому.
Также для анализа такого типа систем можно применить метод, разработанный А. Д. Соловьёвым. Он рассмотрел дублированную систему с ненагруженным резервированием в предположении, что как время безотказной работы элементов, так и время ремонта элементов распределены по произвольным законам.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Разработать схему из 3-х резервированных невосстанавливаемых систем и оценить надежность общей системы, защищенной от трех отказов.
Кратность резервирования элементов системы при общем или раздельном методе, должна определяться по формуле

Кратность резерва ≥ кратности отказа +1

т.е. схема включает 4-х кратное резервирование.

При раздельном резервировании

$Pc = P_c = \prod_{i=1}^{3}(1-(1-p_i))$ $(1-(1-Pi)^4)$ *где Pi – вероятность безотказной работы одной системы*

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Система имеет кратность общего резервирования m = 5. Основная нерезервированная система содержит четыре равнонадёжных элемента с последовательным соединением. Интенсивность отказа одного элемента $\lambda=0{,}2\cdot10^{-3}$ (1/ч). Определить характеристики надежности системы за 1000 ч работы.

При общем резервировании $Pc=1-(1-Pв)^5$

$Pв= Pэ1000)^4=(exp(-0{,}2\cdot10^{-}3*1000))^4=0{,}45$

$Pc(1000)=0{,}95$

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_17

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Способы поддержания надежности техники в процессе ее технической эксплуатации. Свойства и показатели критичности элементов системы.

Способы поддержания надёжности техники в процессе её технической эксплуатации:

- *Планирование и оптимизация системы обслуживания и ремонта. Включает в себя профилактическое и корректирующее техническое обслуживание, а также техническую диагностику.*
- *Использование систем встроенного автоматического контроля. Они предназначены для сокращения времени устранения неисправностей и прогнозирования отказов, а также для автоматического включения резервных элементов.*
- *Выбор наиболее надёжных элементов. Выбор должен быть связан с анализом технических требований к надёжности.*
- *Облегчение режимов работы элементов. Например, уменьшение вредного влияния окружающей среды и внешних воздействий, а также облегчение электрических режимов работы.*

Свойства критичности элементов системы:

- *Критичность элемента отражает возможность возникновения отказа, определяет степень влияния элемента на работоспособность системы в целом и учитывает тяжесть последствий отказа.*
- *Для оценивания критичности используется ряд частных показателей, таких как степень тяжести последствий отказа, вероятность отказа, устойчивость элемента к воздействию внешних неблагоприятных факторов, степень резервирования, контролируемость состояния элемента, продолжительность существования риска отказа, возможность локализации отказа.*

Показатели критичности могут иметь как количественный, так и качественный характер, и для их измерения могут использоваться различные виды шкал

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Получить формулу для вероятности безотказной работы мажоритарной системы, состоящей из элементов разной надежности при n=5, m = 2.

Мажоритарную систему типа “m из n” можно рассматривать как вариант системы с параллельным соединением элементов, отказ которой произойдет, если из n элементов,

соединенных параллельно, работоспособными окажутся менее m элементов (m < n).

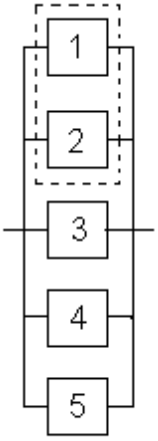


Рис. 3.1 Система "2 из 5"

1. *Для расчета надежности систем типа “m из n“ при сравнительно небольшом количестве элементов можно воспользоваться методом прямого перебора. Он заключается в определении работоспособности каждого из возможных состояний системы, которые определяются различными сочетаниями работоспособных и неработоспособных состояний элементов.*

2. *Все состояния системы “2 из 5“ занесены в таблицегде работоспособные состояния элементов и системы отмечены знаком “+“, неработоспособные - знаком “-“).*

N состояния	*Состояние элементов*					*Состояние системы*	*Вероятность состояния системы*
	1	*2*	*3*	*4*	*5*		
1	+	+	+	+	+	+	p^5
2	+	+	+	+	-	+	$p^4q^1 = p^4(1-p)$
3	+	+	+	-	+	+	
4	+	+	-	+	+	+	
5	+	-	+	+	+	+	
6	-	+	+	+	+	+	
7	+	+	+	-	-	+	$p^3q^2 = p^3(1-p)^2$
8	+	+	-	+	-	+	
9	+	-	+	+	-	+	
10	-	+	+	+	-	+	
11	+	+	-	-	+	+	
12	+	-	+	-	+	+	
13	-	+	+	-	+	+	
14	+	-	-	+	+	+	
15	-	+	-	+	+	+	
16	-	-	+	+	+	+	
17	+	+	-	-	-	+	$p^2q^3 = p^2(1-p)^3$
18	+	-	+	-	-	+	
19	-	+	+	-	-	+	
20	+	-	-	-	+	+	
21	-	+	-	-	+	+	
22	-	-	-	+	+	+	
23	+	-	-	+	-	+	

N состояния	*Состояние элементов*					*Состояние системы*	*Вероятность состояния системы*
	1	*2*	*3*	*4*	*5*		
24	-	+	-	+	-	+	
25	-	-	+	-	+	+	
26	-	-	+	+	-	+	
27	+	-	-	-	-	-	$p^1q^4 = p^1(1-p)^4$
28	-	+	-	-	-	-	
29	-	-	+	-	-	-	
30	-	-	-	+	-	-	
31	-	-	-	-	+	-	
32	-	-	-	-	-	-	$q^5 = (1-p)^5$

3. Для данной системы работоспособность определяется лишь количеством работоспособных элементов. По теореме умножения вероятностей вероятность любого состояния определяется как произведение вероятностей состояний, в которых пребывают элементы . Например, в строке 9 описано состояние системы, в которой отказали элементы 2 и 5, а остальные работоспособны. При этом условие "2 из 5" выполняется, так что система в целом работоспособна. Вероятность такого состояния

$$P_9 = p_1 q_2 p_3 p_4 q_5 = p^3 q^2$$

(предполагается, что все элементы равнонадежны). С учетом всех возможных состояний вероятность безотказной работы системы может быть найдена по теореме сложения вероятностей всех работоспособных сочетаний. Поскольку количество неработоспособных состояний меньше, чем работоспособных (соответственно 6 и 26), проще вычислить вероятность отказа системы. Для этого суммируются вероятности неработоспособных состояний (где не выполняется условие " 2 из 5 ")

$$Q = P_{32} + P_{27} + P_{28} + P_{29} + P_{30} + P_{31} = q^5 + 5pq^4 =$$

$$= (1-p)^5 + 5p(1-p)^4 = 1 - 10p^2 + 20p^3 - 15p^4 + 4p^5.$$

Тогда вероятность безотказной работы системы

$$P = 1 - q = 10p^2 - 20p^3 + 15p^4 - 4p^5. \ ($$

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Вычислительная система построена из 500 однотипных блоков с интенсивностью отказа $\lambda=0{,}3\cdot10^{-6}$(1/ч). В скользящем холодном резерве находятся два таких же блоков, которые могут заменить любой из отказавших блоков. Определить показатели надежности системы за 10000 часов работы.

Система построена из 4 однотипных блоков, которые имеют интенсивность отказов λ = 0,2·10-3 . Определить показатели надежности системы за 1000 час работы, если в скользящем «холодном» резерве находится: 1 такой же блок, 2 таких же блока. Резервные блоки могут заменить в случае отказа любой из отказавших блоков

Решение

$\lambda_0 t = n\lambda t = 500 * 0{,}3\cdot10^{-6} * 1000 = 0{,}015$

Вероятность безотказной работы по формуле Пуассона $P = \sum_{k=0}^{m} \left(\frac{n\lambda t}{k!} \right)^{k} e^{-n\lambda t}$

Pc(t)=exp(-0,015(1+0,015+0,006))=0,98

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_18

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Способы поддержания надежности техники в процессе ее технической эксплуатации. Планирование восстановления элементов системы.

Для поддержания надёжности техники в процессе её технической эксплуатации используются следующие способы:
1. *Планирование и оптимизация системы обслуживания и ремонта.*
2. *Применение методов технического диагностирования и контроля.*
3. *Использование аналитических методов прогнозирования надёжности объекта.*

Также для повышения надёжности при эксплуатации используется объективная, достоверная, полная и оперативная информация о техническом состоянии объекта. Эта информация может быть получена методами технического диагностирования
Планирование восстановления элементов системы может включать:
- *Планирование ремонтов и замен элементов. Модель стандартного ремонта предполагает выполнение текущих и капитальных ремонтов с заданной периодичностью наработки. Также существует стратегия ремонта по техническому состоянию, её эффективность зависит от уровня полноты и достоверности диагностирования систем.*
- *Разработку плана аварийного восстановления. Это документ, который содержит шаги по устранению последствий аварии и восстановлению данных, список ответственных сотрудников, их роли и обязанности, последовательность действий по защите и восстановлению IT-инфраструктуры.*

Некоторые элементы, которые должны быть включены в план аварийного восстановления:
- *Система реагирования на сбои. Должны быть разработаны процедуры проверки работы пользовательских сервисов. В план может быть внесена периодическая диагностика систем и мониторинг точек отказа важных сервисов и приложений.*
- *Распределение ролей и обязанностей между сотрудниками. Для всех сотрудников, которые имеют отношение к работе IT-инфраструктуры, должны быть назначены роли и определены обязанности.*
- *Процесс реализации плана и реагирования на технический сбой. В плане нужно прописать действия команды для восстановления IT-инфраструктуры после катастрофы.*
- *Тестирование плана. Готовый план тестируют, чтобы выяснить, сработает он в реальной ситуации аварии или нет.*

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Напишите и проанализируйте формулу для статистической оценки средней наработки до первого отказа восстанавливаемых изделий, зная моменты выхода из строя всех наблюдаемых изделий.

Статистическая оценка средней наработки до отказа системы находится по формуле

$$\hat{T}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0},$$

где t_i – наработка до отказа i-й системы **.**

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Коэффициент простоя $K_П$ = 0,1. Интенсивность восстановления $\mu = 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ (1 /ч). Определить вероятность отказа системы за 100 ч работы, если справедлив экспоненциальный закон распределения.

*Кп=Тв/Тв+То, следовательно То=9Тв=9(1/ μ)=9*10^4ч*
Интенсивность отказа λ=1/То=10^{-3}1 /ч
*Р(100 ч)=exp(-λ*t) = 0,999, а вероятность отказа q=1-p, что составит 0,001*

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

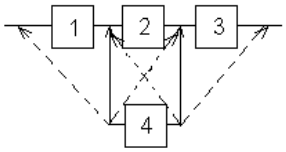
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_19

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Надежность резервированных невосстанавливаемых систем. Скользящее резервирование.

В эксплуатации систем широко распространен способ повышения их надежности за счет введения в схему системы дополнительных элементов, которые могут работать параллельно с основными элементами или подключаться на место отказавшего элемента. Таким образом, резервированной системой называется такая система, в которой отказ наступает только после отказа любого основного элемента и всех резервных у анализируемого элемента. Наиболее распространенные способы представлены в таблице.
При общем резервировании основной объект (система) резервируется в целом, а при раздельном - резервируются отдельные части (элементы) системы. Под кратностью резервирования понимается отношение числа резервных объектов к числу основных. При резервировании с целой кратностью величина есть целое число (например, если $m=2$ *, то на один основной объект приходится два резервных). При резервировании дробной кратностью получается дробное несокращаемое число. Например, при* $m=4/2$ *, резервных объектов 4, основных 2, общее число объектов 6. Сокращать дробь нельзя, так как новое отношение будет отражать совсем другой физический смысл.*
По способу включения резервирование разделяется на постоянное и резервирование замещением. При постоянном резервировании резервные объекты подключены к нагрузке постоянно в течение всего времени работы и находятся в одинаковых с основными объектами условиях. При резервировании замещением замещают объекты основные (подключаются к нагрузке) после их отказа.

Скользящее резервирование используется для резервирования нескольких одинаковых элементов системы одним или несколькими одинаковыми резервными (пример: все

элементы идентичны, а элемент 4 избыточный). Отказ системы произойдет, если из общего количества идентичных элементов (основных и резервных) число отказавших превысит число резервных. Расчет вероятности безотказной работы систем со скользящим резервированием аналогичен расчету систем типа «m из n».



2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
Напишите формулу для статистической оценки средней наработки до первого отказа восстанавливаемых изделий, имея данные о количестве вышедших из строя изделий в каждом интервале времени наблюдения.

Статистическая оценка средней наработки до отказа системы находится по формуле

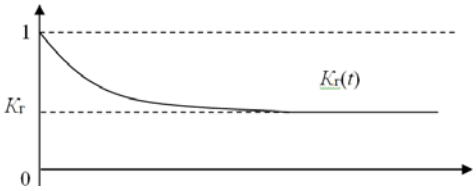
$$\hat{T}_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_i}{N_0},$$

где t_i – наработка до отказа i-й системы **.**

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:
Известно, что интенсивность отказов устройства λ=0,02 (1/ч), а среднее время восстановления 10 ч. Требуется вычислить коэффициент готовности $K_г$ и функцию готовности $K_г(t)$ устройства.

*Решение***:***Функция готовности Кг(t) – вероятность того, что в любой произвольный момент времени система будет находиться в работоспособном состоянии.*
Функции готовности с течением времени эксплуатации стремятся к стационарному значению. Предельное значение функции готовности называется коэффициентом готовности Кг.

$$\lim_{t\to\infty} K_г(t) = K_г$$



То=1/λ= 50ч.
Кг=T_0/T_0+Тв=0,83

Критерии итоговой оценки за экзамен:
«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;
«хорошо» - при сумме баллов 4;
«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;
«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный технический университет

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Кафедра «Радиотехнические информационные системы»
Дисциплина «Надежность радиоэлектронных систем»
Семестр 8

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №_20

1. Вопрос для проверки уровня «ЗНАТЬ» – 0 или 1 или 2 балла:
Профилактика и ее эффективность.

Профилактика в технике — это операция или группа операций планово-предупредительного характера для поддержания технического устройства (изделия) в исправном или работоспособном состоянии с заданным уровнем надёжности.

Она осуществляется, как правило, в заранее предусмотренные сроки и состоит в обследовании изделия, замене или ремонте отдельных его деталей и узлов, в чистке, смазке, регулировке и т.п.

Эффективность профилактики заключается в том, что она предупреждает возможность неожиданной потери работоспособности (отказа) устройства вследствие, например, износа его элементов, загрязнения контактов и т.п..

Также профилактика может совершаться и в незапланированные сроки, одновременно с восстановлением работоспособности изделия после его отказа. Ее эффективность на уровне системы можно оценить коэффициентом технического использования.

Коэффициент технического использования ($K_{ти}$) – отношение математического ожидания суммарного времени пребывания системы в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания системы в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных плановым и неплановым техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период:

$$\hat{K}_{\text{ти}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{\sum_{i=1}^{n} t_i + \sum_{i=1}^{n} \tau_i + \sum_{j=1}^{m} t_{nj}},$$

где t_i – время безотказной работы до i-го отказа; t_{ni} – время i-го непланового ремонта и обслуживания после i-го отказа; t_{nj} – время j-го планового технического обслуживания и ремонта.

2. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» - 0 или 2 балла:
В программу было преднамеренно внесено (посеяно) 7 ошибок. В результате тестирования обнаружено 11 ошибок, из которых 7 ошибок были внесены преднамеренно. Все обнаруженные ошибки исправлены. До начала тестирования предполагалось, что программа содержит не более 5 ошибок. Требуется оценить количество ошибок до начала тестирования и степень отлаженности программы.

3. Задание для проверки уровня «УМЕТЬ» – 0 или 2 балла:

Требуется исправная работа прибора в течение 20 час. При этом допускается однократный перерыв в работе на время не более чем τ=1 час. Какова вероятность того, что задание будет выполнено, если интенсивность отказов прибора постоянна и равна λ=0,01 1/час, а интенсивность восстановления также постоянна и равна μ=2 1/час.

Решение Вероятность выполнения задания в произвольный момент времени определяет коэффициент оперативной готовности:

$$K_{\text{ог}} = K_{\text{г}} \cdot P(t_{\text{ог}}).$$

1.Кг=То/То+Тв, где То=1/ λ=100 ч, Тв=1/ μ=0,5, следовательно Кг=0,995

*2.Вероятность безотказной работы в течение 20 часов составит Р(20)=exp(-0,01*20)=0,81*

3.Ког=0,8

Критерии итоговой оценки за экзамен:

«отлично» - при сумме баллов 5 или 6;

«хорошо» - при сумме баллов 4;

«удовлетворительно» - при сумме баллов 3;

«неудовлетворительно» - при сумме баллов 0, 1 или 2.

Составитель: к.в.н., доцент каф. РИС _____ В.А. Павлов

Заведующий каф. РИС _____ С.Ф. Боев

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Тверской государственный технический университет»
(ТвГТУ)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Радиотехнические
информационные системы
_____ Боев С.Ф.
«__» _____ 20 г.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

промежуточной аттестации: курсовая работа
«Надежность радиоэлектронных систем»

Направление подготовки специалистов – 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы.
Направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы.
Типы задач профессиональной деятельности: проектный, научно-исследовательский.

Разработаны в соответствие с рабочей программой дисциплины, утвержденной проректором по УР Майковой Э.Ю. «21» мая 2020г.,

Разработчик: к.в.н., доцент, доцент каф. РИС _____ В.А Павлов

Тверь, 20

Индикаторы компетенций, закреплённых за дисциплиной в ОХОП:
ИПК-6.1. Применяет на практике знания принципов проектирования конструкций

радиоэлектронных средств.

Показатели оценивания индикатора достижения компетенций:

Знать:

З1.1. Основные понятия и определения теории надежности.

З1.2. Показатели безотказности невосстанавливаемых систем.

З1.3. Показатели безотказности восстанавливаемых систем.

З1.4. Показатели сохраняемости.

З1.5. Показатели ремонтопригодности.

З1.6. Показатели долговечности.

З1.7. Комплексные показатели надежности.

Уметь:

У1.1. Выполнять постановку задачи структурным методом оценки надежности.

У1.2. Проводить работы по реализации статистических методов контроля надежности РТС.

У1.3. Осуществлять постановку задачи оптимального резервирования РТС.

Иметь опыт практической подготовки:

ПП1.1. Оценивать надежность РТС классическими, логико-вероятностным и топологическим методами расчета надежности радиотрехнических систем.

ПП1.2. Применять метод динамического программирования для решения задачи оптимального резервирования РТС.

Таблица Оцениваемые показатели для проведения промежуточной аттестации в форме курсовой работы

№ раздела	Наименование раздела	Баллы по шкале уровня
	Термины и определения	Выше базового– 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0
	Введение	Выше базового– 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0
1	Общая часть (описание объекта) по варианту исходных данных курсовой работы)	Выше базового–6 Базовый – 3 Ниже базового – 0
2	Специальная (расчетно-аналитическая) часть	Выше базового–10 Базовый – 6 Ниже базового – 0
	Заключение	Выше базового– 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0
	Список использованных источников	Выше базового– 2 Базовый – 1 Ниже базового – 0

Критерии итоговой оценки за курсовую работу (проект):

«отлично» – при сумме баллов от 22 до 24;

«хорошо» – при сумме баллов от 17 до 20;

«удовлетворительно» – при сумме баллов от 12 до 16;

«неудовлетворительно» – при сумме баллов менее 11, а также при любой другой сумме, если по разделу «Специальная часть», работа имеет 0 баллов.