

Введение

Дисциплина «Техническая диагностика» входит в цикл дисциплин, которые обеспечивают теоретическую и практическую подготовку студентов специализации «Техническая эксплуатация авиационного радиооборудования» непосредственно по методам и средствам технического обслуживания и ремонта радиоэлектронного оборудования.

В процессе изучения дисциплины студент должен выполнить курсовую работу, которая связана с проведением диагностического анализа определенного радиоэлектронного устройства (РЭУ). Таким устройством может быть блок, узел, система и т.д. в зависимости от индивидуального задания студента для выполнения курсовой работы.

Целью данной курсовой работы является закрепление умений построения диагностических моделей РЭУ с учетом их надежностных характеристик, навыков по выбору совокупности и значений диагностических параметров, определяющих работоспособность оборудования, и составление оптимальных алгоритмов поиска места отказа (ПМО), а также расчет показателей достоверности и контролепригодности диагностирования. Дополнительно в данной работе студентам необходимо обосновать структуру системы диагностирования и контроля с учетом конкретных диагностируемых параметров.

1. Теоретическая часть

1.1. Техническая диагностика

Непрерывное усложнение технических объектов и рост степени автоматизации процессов управления выдвигают на передний план проблему оптимальной организации эксплуатации сложных технических объектов. Важную роль при этом отводят определению состояния объектов, которое вследствие воздействия внешних и внутренних факторов изменяется с течением времени. Знание состояния технических объектов в любой момент времени позволяет оператору использовать их оптимальным образом, т.е. с наибольшей эффективностью. Знание характера и момента изменений, происходящих в объекте, позволяет оператору в кратчайшие сроки осуществить ремонт и тем самым повысить надежность объекта. Знание состояния объекта, а также характера изменений оказывает положительное моральное влияние на оператора, повышая уверенность его в правильности принимаемых решений.

В отличие от теории надежности, которая занимается изучением и использованием для расчетов средневероятностных статистических показателей, характеризующих технические объекты, техническая диагностика занимается изучением методов, определяющих *действительное состояние технических объектов* в конкретный момент времени. Это положение обуславливает принципиальные отличия в методах исследования технических объектов, используемых в теории надежности и в технической диагностике. Однако это не исключает возможности использования для целей диагностики данных и математического аппарата теории вероятностей.

Переход объекта технического диагностирования (ОТД) из одного состояния в другое, как правило, объясняется возникновением *неисправности в объекте*. Возможные неисправности разделяют на: *неисправности элемента*, которые определяются как недопустимые количественные изменения какого-либо параметра (характеристики) вследствие необратимых физико-химических изменений; *неисправности объекта*, которые трактуются как недопустимые количественные изменения параметров (характеристик) или изменения структурных связей в объекте.

Можно определить состояние технического объекта, контролируя его параметры, характеристики или оценивая качество выполнения им рабочих функций (функционирования). При этом *параметр* определяется как *физическая* или *математическая* величина, характеризующая состояние элемента или объекта, а характеристика представляет собой зависимость одного параметра от другого или параметра от времени.

Процесс определения действительного состояния объекта предусматривает наличие обоснованной программы и заданных алгоритмов диагностирования. Алгоритм *диагностирования* представляет собой совокупность операций, выполняемых в определенной последовательности с целью решения конкретной диагностической задачи. *Программой диагностирования* является определенная во времени последовательность операций (алгоритмов) по установлению действительного состояния объекта и характера его изменения.

В процессе диагностирования участвуют проверяемый объект, технические средства диагностирования и оператор. При этом необходима определенная организация взаимодействия объекта и средств диагностирования, т.е. *система диагностирования*.

Следовательно, эффект, достигаемый диагностированием, определяется как надежностью объекта и диагностической аппаратуры, так и эффективностью применяемых методов и деятельности оператора. Случайный характер воздействия этих факторов определяет вероятностный характер оценки эффективности технической диагностики.

Решение задач технической диагностики целесообразно начинать в процессе проектирования объекта. При этом, исходя из условий использования и эксплуатации проектируемого объекта, разрабатываются диагностические модели. Анализ диагностических моделей объекта позволяет сформулировать условия работоспособности, определить признаки неисправностей и выбрать ограниченное множество характеристик, показателей или параметров, которые следует контролировать в процессе диагностирования. Одновременно следует решить вопрос о возможности и целесообразности прогнозирования изменения состояния объекта. Принимаемые решения должны быть согласованы с конструктивными решениями, рекомендуемыми для проектируемого объекта, и должны отображать требуемый уровень контролепригодности.

На следующем этапе выбирают методы определения работоспособности и принципы построения программы поиска места возникшей неисправности.

При выборе методов диагностирования необходимо учитывать возможность их технической реализации, конструктивное исполнение и условия эксплуатации объекта. На этом этапе должно быть установлено, какие встроенные или внешние технические средства будут использоваться в процессе диагностирования. В результате выполнения данного этапа должны быть решены вопросы конструктивного порядка, связанные с объектом и встроенными средствами диагностирования, а также разработано техническое задание на внешние средства диагностирования. В дальнейшем *внешние средства диагностирования* могут разрабатываться параллельно и независимо от объекта. При этом с учетом условий эксплуатации объекта должна быть определена целесообразная степень автоматизации процесса диагностирования, разработаны функциональные и структурные схемы технических средств, выбраны принципы и форма обработки контрольной информации и получены технические решения для конкретных диагностических устройств.

Исходными данными при этом являются последовательность операций, продолжительность каждой операции, число параллельно выполняемых операций и потребляемая мощность источников энергии.

На заключительном этапе работы необходимо оценить эффективность диагностики. Получение значений эффективности диагностики ниже допустимых может потребовать пересмотра и корректировки ранее принятых решений. В связи с этим в ряде случаев целесообразно оценивать эффективность в процессе проектирования после выполнения каждого этапа работы.

1.2. Построение функционально-диагностических моделей

Оптимальные решения задач технической диагностики сложных объектов могут быть получены только в результате анализа множества L состояний, в которых эти объекты могут находиться в период эксплуатации. В свою очередь, анализ может быть выполнен теоретически в период разработки нового объекта или экспериментально в период эксплуатации готового объекта. Однако в ряде случаев выполнение эксперимента затруднительно или просто технически невыполнимо. В связи с этим требуются специальные методы для теоретического анализа множества возможных состояний сложных технических объектов. Подобные методы основываются на исследовании аналитических описаний или графоаналитических представлений основных свойств технических объектов как объектов диагностирования, которые могут быть названы их *диагностическими моделями*. В качестве диагностических моделей могут рассматриваться дифференциальные уравнения, логические соотношения, диаграммы прохождения сигналов и др.

Выбор того или иного типа модели для представления конкретного объекта зависит от целого ряда таких факторов, как условия эксплуатации, возможное конструктивное исполнение, тип комплектующих элементов и т.п. Исследование диагностической модели предусматривает:

1) формулировку условий работоспособности, т.е. условий разделения множества L на два подмножества: работоспособных L_1 и неработоспособных L_2 состояний;

2) получение критерия для оценки степени работоспособности объекта диагностики (различение состояний в подмножестве L_1);

3) установление признаков возникших неисправностей (различение состояний в подмножестве L_2).

В ряде случаев на практике технический объект можно расчленить на несколько взаимосвязанных частей, каждая из которых имеет самостоятельное значение. При этом в качестве диагностической может быть использована так называемая *функциональная модель*. Функциональная модель представляет собой графическое изображение объекта (рис. 1.1), строящегося по следующим правилам:

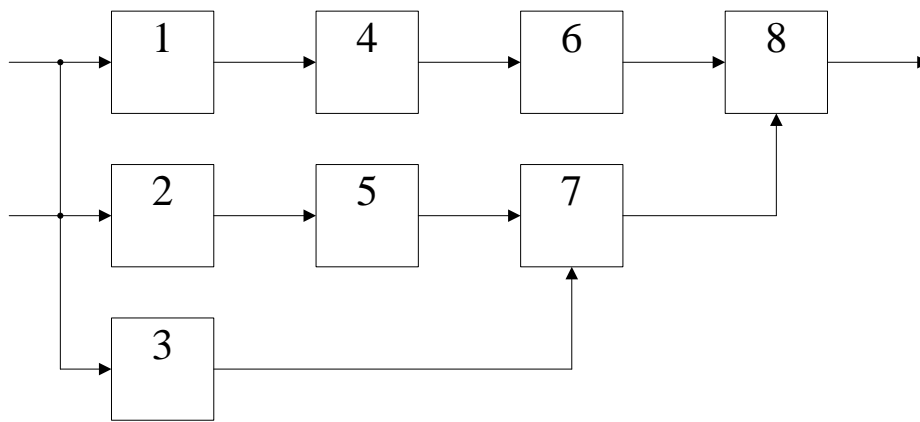


Рис. 1.1. Функционально-диагностическая модель (ФДМ)

1) функциональный элемент – логически законченный фрагмент принципиальной схемы, выполняющий определенную функцию, обозначается прямоугольником. В зависимости от глубины диагностирования функциональным элементом может выступать: отдельный блок в сложной системе; плата или функциональный узел отдельного блока; элементарная сборочная единица принципиальной схемы (R, L, C, DD, VT, VD и т.п.);

2) количество входов соответствует числу воздействий, которые необходимо приложить, чтобы получить реакцию на выходе элемента. Функциональный элемент может иметь сколько угодно входных сигналов и только один выходной. Связи между элементами указаны линиями со стрелками, обозначающими направление прохождения сигнала. В случае если на функциональной схеме системы функциональный элемент имеет два и более выхода, то его необходимо разделить на взаимосвязанные блоки, каждый из которых будет соответствовать одному из выходов;

3) внешние входные воздействия принимают только номинальные значения (т.е. перед началом диагностирования в зависимости от глубины поиска места отказа необходимо проверить: питание сложного РЭО, все внешние входные воздействия блока или платы);

Однако следует отметить, что представление объекта функциональной моделью не освобождает от необходимости решения задач, связанных с выявлением условий работоспособности для каждого функционального элемента.

1.3. Расчет показателей безотказности диагностируемого устройства. Выбор совокупности диагностических параметров для контроля работоспособного состояния

Показатели безотказности ($P_{\text{БОРТ}}$) рассчитываются, исходя из выбранного закона распределения времени безотказной работы.

Области применения теоретических распределений можно в общих чертах определить в следующем виде:

1) показательное распределение – для простейших потоков отказов; для сложных систем, состоящих из разнородных элементов с различными характеристиками (интенсивность отказов); при ограниченном объеме экспериментальных данных об отказах ОТД;

2) нормальное распределение – для сравнительно простых электронных, механических и др. изделий с однородными характеристиками деградации при условии, что изделия имеют малый разброс скорости износа, и при анализе надежности в случае постепенных отказов;

3) распределение Вейбулла (Вейбулла-Гнеденко) и Рэлея:

– для постепенных отказов электронных ламп, транзисторов, резисторов др. радиоэлементов;

– для отказов, вызванных старением и износом;

– для описания надежности сложного нерезервированного РЭО;

4) гамма-распределение (Эрланга):

– для определения показателей надежности в период приработки;

– для описания отказов, наработка между которыми есть сумма независимых случайных наработок, распределенных одинаково по экспоненциальному закону с одинаковой интенсивностью;

– для аппаратуры, выполненной на интегральных микросхемах.

Временной интервал T выбирается студентом, исходя из особенностей ОТД и его функционального использования, а данные по λ представлены в Приложении 1, где λ – интенсивность отказов.

Объект считается работоспособным, если он по своему состоянию может выполнить поставленные перед ним задачи или возложенные на него функции. Обычно на практике разрешается некоторое отклонение относительно качества выполнения функций техническим объектом, позволяющее допускать некоторые изменения состояния объекта и говорить о наличии множества состояний L_1 , при которых объект еще считается работоспособным. Изменение состояния объекта в установленных пределах может рассматриваться как изменение степени работоспособности или запаса работоспособности объекта, при этом

$L_i \in L_1$. Если изменение состояния объекта выходит за допустимые пределы, т.е. $L_i \in L_2$, то объект теряет свою работоспособность – наступает отказ.

Анализ работоспособности объекта предусматривает определение условий, при которых объект может выполнять возложенные на него функции. Эти условия называются *условиями работоспособности объекта*. Кроме того, анализ работоспособности предусматривает выбор совокупности величин, позволяющих проверить условия работоспособности, и определение метода их контроля.

Работоспособное состояние – это состояние, в котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации. Взаимосвязь и взаимовлияние параметров позволяет выбрать из всего комплекса выходных параметров достаточную их совокупность, контроль которой даст возможность определить, находится изделие РЭО в работоспособном состоянии или нет.

Выбор совокупности диагностических параметров (ДП) включает:

- определение группы параметров, характеризующих работоспособное состояние РЭО по информационному критерию;
- определение полноты контроля на основе выбранной минимальной и достаточной совокупности контролируемых параметров;
- установление номинальных значений ДП и допусков на их изменение.

При диагностическом анализе действующих систем необходимо убедиться, что совокупность параметров для контроля работоспособности, представленная в технической документации, является минимальной и достаточной и обеспечивает максимальную полноту контроля.

Допуски на совокупность ДП должны содержать: номинальные значения, предельные значения, характеризующие наличие повреждения или предотказного состояния. ДП минимальной и достаточной совокупности следует свести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

№ п/п	Единица измерения	Номинальное значение	Предельные значения		Предотказные значения		Точка измерения	Прочие данные
			нижн.	верхн.	нижн.	верхн.		

1.4. Построение алгоритма ПМО информационным методом

Информационные алгоритмы поиска возникшей неисправности базируются на информационной оценке процесса диагностики. Одним из таких алгоритмов является алгоритм [1], базирующийся на анализе таблицы состояний, в которой столбцы соответствуют всем возможным состояниям, а строки – всем возможным проверкам. Причем каждая проверка имеет два исхода $\Phi = \{0,1\}$ и предполагается, что все состояния, образующие группу событий, равновероятны.

Поиск начинается с проверки, которой соответствует наибольшее значение информации, т.е. имеющее минимальное значение функции предпочтения

W_j . Затем на каждом шаге осуществляются проверки, которым соответствуют наибольшие значения условной информации относительного состояния, т.е. минимальные значения W_j :

$$W_j = \left| \sum_{i=1}^k Q_{ij}(1) - \sum_{i=1}^{n-k} Q_{ij}(0) \right|_{\min}, \quad (1.1)$$

где $\sum_{i=1}^k Q_{ij}(1)$ – вероятность отказа элемента, имеющего значение «1» в строке состояния;

$\sum_{i=1}^{n-k} Q_{ij}(0)$ – вероятность отказа элемента, имеющего значение «0» в строке состояния;

j – порядковый номер проверки.

Более наглядно определить место отказа позволяет алгоритм ПМО. Построение алгоритма ПМО при инженерно-логическом анализе основывается на учете структуры объекта, количестве проверок и их трудоемкости. Объект, расчлененный на элементы в соответствии с требующейся глубиной локализации неисправности, представляется логическим деревом.

Логические деревья имеют три разновидности, предусматривающие:

- 1) последовательное выполнение всех возможных проверок;
- 2) оптимальную последовательность, т.е. обеспечение минимальной стоимости реализации алгоритма поиска;
- 3) время, затрачиваемое на проведение той или иной проверки:

$$W_j = \left\{ \tau_0 \left| \sum_{i=1}^k Q_{ij}(1) - \sum_{i=1}^{n-k} Q_{ij}(0) \right|_{\min} \right\}, \quad (1.2)$$

где τ_0 – время, затрачиваемое на j -ю проверку;

- 4) различные комбинации первых трех принципов.

1.5. Выбор и обоснование состава средств диагностирования при проведении технической диагностики

Проведение технической диагностики должно осуществляться с помощью штатных серийно-выпускаемых и метрологически обеспеченных технических средств диагностирования:

- измерительных приборов общего назначения;
- контрольно-поверочной аппаратуры специального назначения;
- специальных генераторов – имитаторов сигналов;
- стендового оборудования;
- систем автоконтроля и документирования;
- комплексов стендового оборудования и ЦВМ.

Для выполнения операций технической диагностики необходимо выбрать и обосновать состав средств диагностирования с учетом погрешностей измере-

ния, степени охвата изделия, взаимодействия средств и объекта технической диагностики – функционального или тестового диагностирования, стенды автоматизации и т.д.

После выбора средств необходимо составить схему диагностики и контроля и проработать вопросы сопряжения метрологических и технических параметров выбранных средств технической диагностики.

1.6. Расчет показателей диагностирования и контролепригодности

Рост безотказности очередного поколения РЭО на новой элементной базе заставляет постоянно возвращаться, а какова целесообразность реализации диагностики и контроля вообще? Не проще ли очередные затраты отправить на другие мероприятия. В каждом отдельном случае ответ на такой вопрос требует количественных оценок и учета многих факторов. Рассмотрим один из возможных путей решения поставленной задачи на основе графоаналитического метода.

Эффективность использования РЭО – комплексное понятие, объединяющее понятия: качество системы, качество эксплуатации системы, эксплуатационную ситуацию.

Качество системы – это совокупность свойств системы, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенным потребностям в соответствии с ее назначением.

Качество эксплуатации – совокупность свойств процесса эксплуатации системы, от которых зависит соответствие этого процесса и его результатов установленным требованиям. Эксплуатационная ситуация включает в себя обстоятельства, обуславливающие влияние внешней среды, цели и режимы функционирования системы, а также спрос на систему и результаты ее функционирования.

Эффективность и качество систем оцениваются совокупностью соответствующих показателей. *Показателем эффективности* использования РЭО называют количественную характеристику степени достижения полезных результатов при использовании системы в конкретной эксплуатационной ситуации с учетом эксплуатационных затрат. *Показатель качества* – это количественная характеристика одного или нескольких свойств системы, составляющих ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям создания и потребления.

Показатели качества систем подразделяют на интегральные, единичные и комплексные.

Интегральный показатель качества близок по своему смыслу к показателю эффективности использования системы и определяется как отношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации системы к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию.

Единичным показателем качества систем технического диагностирования (СТД) являются параметры функционального использования, технические и эксплуатационные параметры, к числу таковых могут быть отнесены: досто-

верность информации и вероятность ошибок диагностирования технического состояния объекта; безотказность СТД; долговечность СТД и другие параметры.

Комплексный показатель качества систем характеризует совместно несколько простых свойств или одно сложное свойство системы. Примером комплексных показателей СТД может служить коэффициент технического использования $K_{Т.И.}$ (в данном случае речь идет о системе диагностирования в связи с возможностями отказов, входящих в ее состав, сложных РЭУ и необходимостью проведения определённых работ по поддержанию качества).

Другим примером комплексного показателя является вероятность правильного диагностирования СТД, определяемая соотношением:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^m \sum_{\substack{j=1, \\ i \neq j}}^m P_{i,j}, \quad (1.3)$$

где m – число состояний;

$P_{i,j}$ – вероятность ошибки диагностирования, когда ОТД находится в техническом состоянии i , а в результате диагностирования ему присваивается нахождение в состоянии j .

Отсюда можно вынести вероятности $P(0,1)$ и $P(1,0)$, фиксирующие ошибки диагностирования первого и второго рода.

Коэффициент эффективности операций диагностирования и контроля в общем виде можно представить разностью:

$$K_{\varepsilon}(t) = \Delta \varepsilon = \varepsilon(t/t_D) - \varepsilon(t); \quad t > t_D,$$

где $\varepsilon(t/t_D)$ – эффективность операций диагностирования при условии, что в момент времени t_D проведено диагностирование и техническое обслуживание (ТО);

$\varepsilon(t)$ – эффективность операций диагностирования при условии, что ТО не проводилось.

Нормированный коэффициент эффективности использования СТД:

$$K'_{\varepsilon} = (\varepsilon(t/t_D) - \varepsilon(t)) / \varepsilon(t), \quad 0 < K'_{\varepsilon} < 1.$$

Если представить $\varepsilon(t) = \varepsilon_0(t)P(t)$, где $\varepsilon_0(t)$ – эффективность идеальной в смысле безотказности СТД, а $P(t)$ – вероятность безотказной работы, выступающая как мера снижения эффективности, то нормированный коэффициент эффективности операций диагностирования примет вид:

$$K'_{\varepsilon} = (P(t/t_D) - P(t)) / P(t), \quad (1.4)$$

то есть определяется через показатели безотказности, а сам эффект от использования СТД выражается в повышении безотказности.

Расчет показателей диагностирования составляет важную часть технического диагностирования ибо позволяет оценивать количественно результаты выполненной работы. Задача расчета показателей диагностирования может решаться в двух аспектах:

1. Определены ОТД, средства ТД, их показатели известны или рассчитаны, установлены допуски на показатели, параметры измерительных работ и их стоимость.

Задача: рассчитать показатели диагностирования; вероятности ошибок вида (1,0) и вида (0,1); достоверности диагностирования; среднее время диагностирования; стоимость диагностирования.

2. Объект ТД – известен, средства ТД – определены, совокупность параметров контроля и работоспособности установлены. Заданы значения ошибок вида (1,0) и (0,1).

Задача: по заданным значениям ошибок диагностирования установить допуск на изменение ДП и погрешности средств измерения. В случае, если выбранные значения погрешностей измерительных приборов не удовлетворяют требуемым расчетным значениям и не обеспечивают заданную достоверность диагностирования, выбрать новые средства или сформировать требования к стабильности параметров.

Коэффициент целесообразности диагностирования может быть представлен в виде отношения $K_D = D_1/D_2$, где D_1 – достоверность информации о техническом состоянии РЭС при первом варианте диагностирования, а D_2 – достоверность информации о техническом состоянии того же изделия при втором варианте.

В свою очередь, достоверность D_1 может быть выражена отношением $D_1 = P_p/P_{\text{доп}}$, где P_p – вероятность того, что изделие РЭО после проведения диагностики и контроля окажется действительно работоспособным; $P_{\text{доп}}$ – вероятность того, что изделие после контроля будет допущено к эксплуатации (т.е. будет признано работоспособным).

При расчете достоверности диагностирования примем во внимание следующие значения вероятностей, определяемые из условий функционального применения и стратегий ТО:

$P_1 = P_{\text{БОРТ}}$ – вероятность работоспособного состояния ОТД перед контролем. Рассчитывается студентом, исходя из заданной диагностируемой системы;

P_2 – вероятность возникновения отказа в ОТД при контроле и диагностировании;

P_3 – вероятность исправности средства диагностики и контроля до начала диагностирования;

P_4 – вероятность исправного состояния средств диагностирования и контроля в процессе диагностирования;

P_5 – вероятность восстановления отказавшего средства диагностики и контроля;

P_{01} – вероятность ошибки второго рода (вероятность принятия по результатам диагностирования неисправный ОТД за исправный);

P_{10} – вероятность ошибки первого рода (вероятность принятия по результатам диагностирования исправный ОТД за неисправный).

Для упрощения примем, что средства контроля и объект – независимые системы, и тогда вероятность допуска объекта к эксплуатации

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{С.К.}} P_{\text{О.К.}}, \quad (1.5)$$

где $P_{\text{С.К.}}$ – вероятность исправного состояния системы контроля в течение всего процесса контроля с учетом возможного восстановления средств контроля;

$P_{\text{О.К.}}$ – вероятность работоспособного состояния объекта.

Используя теоремы теории вероятности, можно записать:

$$\begin{aligned} P_{\text{С.К.}} &= P_3 P_4 + P_3 P_5 (1 - P_4) + (1 - P_3)(1 - P_4) P_5^2 + (1 - P_3) P_4 P_5 = \\ &= [P_3 + (1 - P_3) P_5] [P_4 + (1 - P_4) P_5]. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Соответственно вероятность:

$$\begin{aligned} P_{\text{О.К.}} &= (1 - P_2) P_1 (1 - P_{10}) + (1 - P_1)(1 - P_2) P_{01} + P_2 P_{01} = \\ &= (1 - P_2) [P_1 (1 - P_{10}) + (1 - P_1) P_{01}] + P_2 P_{01}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Вероятность того, что объект после диагностирования будет допущен к работе по назначению, определится из (1.5) с учетом (1.6) и (1.7), т.е.:

$$\begin{aligned} P_{\text{доп}} &= [P_3 + (1 - P_3) P_5] [P_4 + (1 - P_4) P_5] \times \\ &\times \{ (1 - P_2) [P_1 (1 - P_{10}) + (1 - P_1) P_{01}] + P_2 P_{01} \}. \end{aligned} \quad (1.8)$$

Вероятность того, что объект после диагностирования окажется действительно работоспособным, определится из (1.8) с учетом условия $P_{01} = 0$:

$$P_P = [P_3 + (1 - P_3) P_5] [P_4 + (1 - P_4) P_5] (1 - P_2)(1 - P_{10}) P_1. \quad (1.9)$$

Тогда формула для вычисления достоверности контроля принимает вид:

$$D = P_P / P_{\text{доп}} = (P_1 (1 - P_2)(1 - P_{10})) / ((1 - P_2) [P_1 (1 - P_{10}) + (1 - P_1) P_{01}] + P_2 P_{01}). \quad (1.10)$$

В выражении (1.10) вероятности, характеризующие составляющие средств контроля, вошли косвенно через составляющие P_{10} и P_{01} .

Полученные выражения дают возможность сравнивать различные системы контроля.

Определим для примера коэффициент целесообразности диагностирования при сопоставлении ТО контролируемой и неконтролируемой систем. Достоверность определения состояния неконтролируемой системы ограничивается нашими знаниями о безотказности – P_1 . Тогда

$$\begin{aligned} K_D &= D_1 / D_2 = D_1 / P_1 = \\ &= [(1 - P_2)(1 - P_{10})] / [(1 - P_2) [P_1 (1 - P_{10}) + (1 - P_1) P_{10}] + P_2 P_{01}]. \end{aligned} \quad (1.11)$$

Очевидно, что с ростом P_1 – значения K_D уменьшаются. При $K_D > 1$ контроль можно признать целесообразным, а при $K_D < 1$ – нецелесообразным.

Одним из подходов к оптимизации периодичности диагностирования РЭО T_k является метод, основанный на критерии максимума технического использования $\max(K_{TU})$. Целесообразность использования этого контроля заключается в том, что K_{TU} – один из комплексных показателей системы высшего иерархического уровня – системы управления безотказностью, а ОТД – изделия РЭО – в большинстве случаев работают в режиме ожидания функционального использования, начало и конец которого распределены случайным образом. Очевидно, что режим диагностирования должен помогать управлению показателями РЭО и ни в коем случае не снижать таковые. Тестовое диагностирование, с одной стороны, выводит РЭО из режима применения, с другой стороны, позволяет обнаружить дефекты или скрытые отказы, выявление и устранение которых по результатам диагностирования повышает вероятность пребывания РЭО в состоянии исправности.

Для решения поставленной задачи определения оптимального значения T_k можно использовать вероятностную модель процесса изменения состояния РЭО при ТО и восстановлении. В модели учитываются следующие состояния ОТД – РЭО: $S1$ – ОТД находится в исправном состоянии и готов к использованию; $S2$ – в ОТД возник дефект, но ОТД готов к использованию, т.к. находится в работоспособном состоянии; $S3$ – ОТД находится в неработоспособном, но функционирующем состоянии (открытый отказ); $S4$ – ОТД находится в режиме диагностирования и восстановления (устранение дефектов и скрытых отказов); $S5$ – ОТД восстанавливается после явного отказа с интенсивностью восстановления $\gamma = 1/\tau_B$.

Другие параметры потока переходов из состояния в состояние:

T_k – период контроля; $T_k = 1/\nu$;

τ_D – среднее время диагностирования в $S4$; $\tau_D = 1/\mu$;

λ_0 – параметр потока явных отказов; $\lambda_0 = 1/T_0$;

λ_1 – параметр потока возникновения дефектов; $\lambda_1 = 1/T_1$;

λ_2 – параметр возникновения скрытых отказов; $\lambda_2 = 1/T_2$.

Задача решается следующим образом: составляются системы дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена (процесс изменения состояний полагаем Марковским или стационарным), которые трансформируются в систему алгебраических уравнений.

Коэффициент технического использования находится как сумма вероятностей:

$$K_{TU} = P(S1) + P(S2). \quad (1.12)$$

После решения соответствующей системы уравнений получаем выражение (при равенстве $\lambda_1 = \lambda_2$):

$$K_{TU} = \frac{\gamma\mu(\lambda_0 + \nu + 2\lambda_1)(\lambda_0 + \nu)}{(\gamma\mu + \gamma\nu + \lambda_0\mu)[(\lambda_0 + \nu)(\lambda_0 + \nu + 2\lambda_1) + 2\lambda_1^2]}. \quad (1.13)$$

Оптимум выражения $K_{TU} = f(T_K)$ может быть получен либо аналитическим путем $\{d(K_{TU}(T_K))/dT_K\} = 0$, либо путем расчета зависимости K_{TU} от T_K на ЦВМ, микроЭВМ, что предпочтительнее. В результате этих расчетов вычисляются зависимости, по которым можно не только определять оптимальные значения K_{TU} , но проследивать влияние других параметров, например, τ_D, τ_B на K_{TU} .

2. Практическая часть

2.1. Составление таблицы состояния

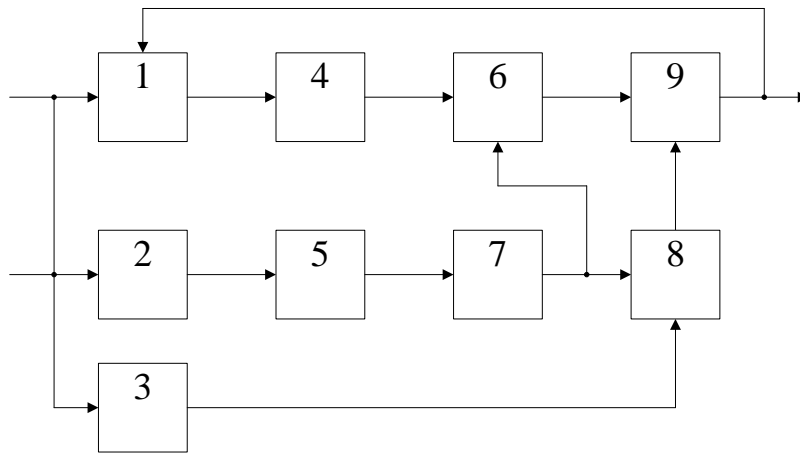


Рис. 2.1. Пример ФДМ

Рассмотрим ФДМ (рис. 2.1), полученную на основе некоторой электрической функциональной схемы. Устанавливаем, что входными блоками являются блоки 1, 2 и 3, а выходным является блок 9. В данной ФДМ имеется обратная связь (между выходом 9 и входом 1), которая не позволяет однозначно определить место отказа. Прежде чем приступить к построению таблицы состояния, перерисовываем ФДМ, исключив обратную связь (рис. 2.2).

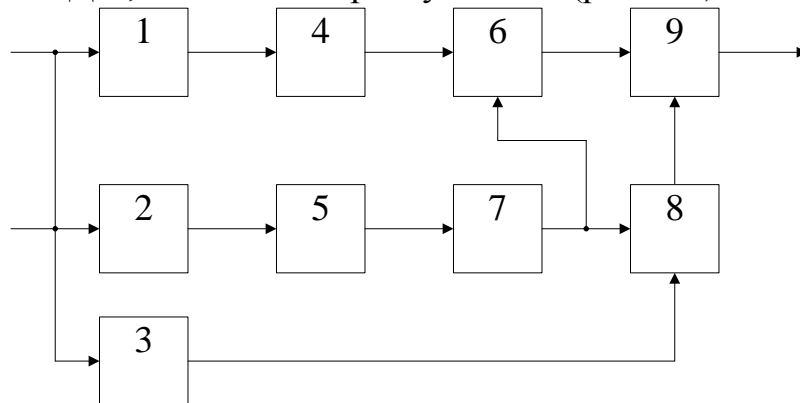


Рис. 2.2. ФДМ после устранения обратной связи

Приступаем к построению таблицы состояния.

Таблица 2.1

	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	W
π_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0,21
π_2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0,19
π_3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0,23
π_4	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0,19
π_5	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0,11
π_6	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0,09
π_7	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0,09
π_8	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27
Q_i	0,03	0,04	0,02	0,01	0,04	0,05	0,01	0,025	0,045	

Из (1.1) получаем W , выбираем наиболее слабый элемент ($W \rightarrow \min$). Как видно из табл. 2.1, наиболее слабым оказался элемент s_8 ($W = 0$). Из табл. 2.1. запишем табл. 2.2.

Таблица 2.2

	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	W
π_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0,21
π_2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0,19
π_3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0,23
π_4	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0,19
π_5	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0,11
π_6	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0,09
π_7	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0,09
π_8	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27
Q_i	0,03	0,04	0,02	0,01	0,04	0,05	0,01	0,025	0,045	

«0» ↓ ↓ «1»

2.2. Построение алгоритма ПМО

Проверка по «0» (после 8-го элемента) – в следующую таблицу состояния переписываем все блоки, имеющие «0» в строке состояния, кроме 8 (рис. 2.3).

«1»	s_2	s_3	s_5	s_7	W
π_2	0	1	1	1	0,03
π_3	1	0	1	1	0,07
π_5	0	1	0	1	0,05
π_7	0	1	0	0	0,07
Q_i	0,04	0,02	0,04	0,01	

«0» → Отказ 2

Рис. 2.3. Таблица состояний для случая отказа на выходе 8-го блока

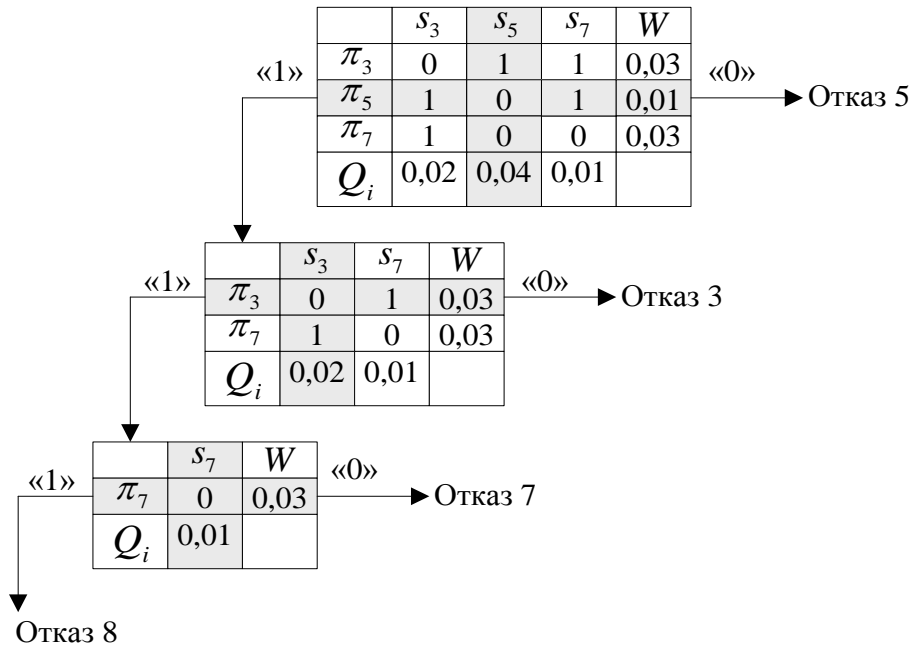


Рис. 2.4. Таблицы состояний для случая отказа на выходе 8-го блока

В каждой выше приведённой таблице мы выбрали минимальное значение W , которое показывало нам номер отказавшего блока (рис. 2.4).

Проверка по «1» (после 8-го элемента) – в следующую таблицу состояний переписываем все блоки, имеющие «1» в строке состояния (рис. 2.5).

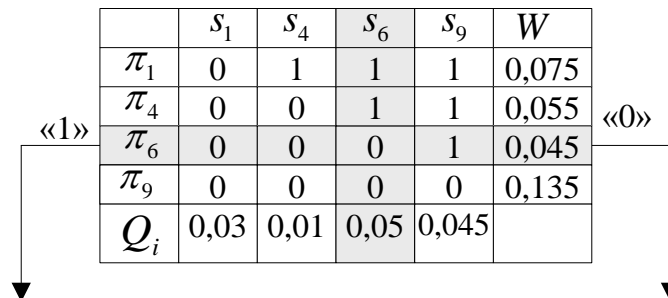
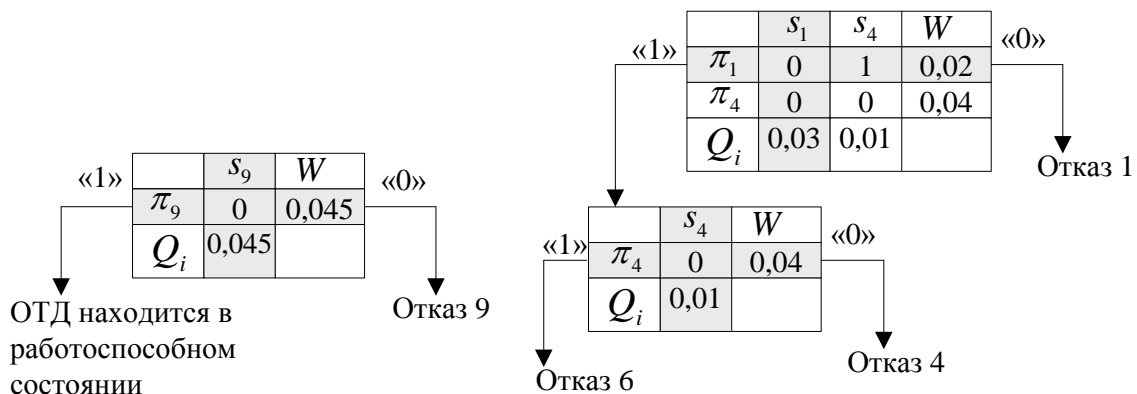


Рис. 2.5. Таблица состояний при работоспособном 8-м блоке

Исключаем строку π_6 , как имеющую минимальное значение W , и получим две таблицы по сторонам выше и ниже π_6 (рис. 2.6).

Рис. 2.6. Две таблицы по сторонам выше и ниже π_6

В результате анализа мы получили алгоритм ПМО для предложенной ФДМ, который показан на рис. 2.7.

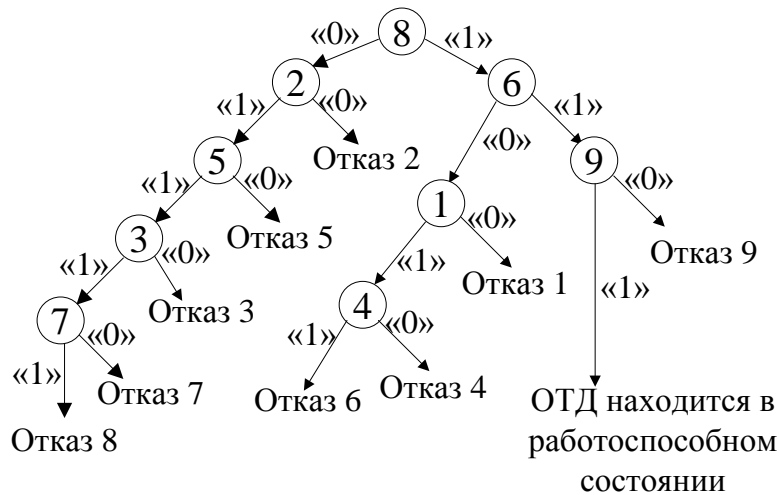


Рис. 2.7. Алгоритм ПМО

2.3. Расчет показателей диагностирования

Рассчитаем показатели диагностирования:

1. Нормированный коэффициент эффективности операций диагностирования и контроля.

По данным варианта: $P(t) = 0,98$, $P(t/t_a) = 0,99798$ получим, используя соотношение (1.4): $K'_3 = \frac{0,99798 - 0,98}{0,98} = 0,01835$.

2. Достоверность контроля.

Примем: $P_1 = 0,98$; $P_2 = 0,045$; $P_3 = 0,95$; $P_4 = 0,9$; $P_5 = 0,3$; $P_{01} = 0,04$; $P_{10} = 0,015$.

Тогда из (1.6) получаем:

$$P_{\text{С.К.}} = 0,95 \cdot 0,9 + 0,95 \cdot 0,3(1 - 0,9) + (1 - 0,95)(1 - 0,9) \cdot (0,3)^2 + (1 - 0,95) \cdot 0,9 \cdot 0,3 = 0,89745.$$

Соответственно из (1.7) находим:

$$P_{\text{О.К.}} = (1 - 0,045) \cdot 0,98 \cdot (1 - 0,04) + (1 - 0,98) \cdot (1 - 0,045) \cdot 0,015 + 0,045 \cdot 0,015 = 0,89944.$$

Подставляем полученные результаты в (1.5):

$$P_{\text{ДОП}} = P_{\text{С.К.}} \cdot P_{\text{О.К.}} = 0,89745 \cdot 0,89944 = 0,80720.$$

Определяем P_p с помощью соотношения (1.9):

$$P_p = [0,95 + (1 - 0,95)0,3][0,9 + (1 - 0,9)0,3](1 - 0,045)(1 - 0,04)0,98 = 0,80632.$$

Окончательно с помощью соотношения (1.10) находим:

$$D = P_p / P_{\text{ДОП}} = 0,80632 / 0,80720 = 0,9989.$$

3. Коэффициент целесообразности диагностирования:

Из (1.11) получаем:

$$K_D = \frac{(1 - 0,045)(1 - 0,04)}{(1 - 0,045)[0,98(1 - 0,04) + (1 - 0,98)0,015] + 0,045 \cdot 0,015} =$$

$$= \frac{0,9168}{0,8988} = 1,02.$$

Полученный результат свидетельствует о целесообразности проведения диагностирования.

3. Задание на курсовую работу

3.1. РЭО, его блоки и составные части для построения ФДМ

Таблица 3.1

№	Объект технического диагностирования, [литература]
1	Передающий канал МН РЛС «Гроза», [6]
2	Модулятор МН РЛС «Гроза», [6]
3	ПУПЧ приемника МН РЛС «Гроза», [6]
4	Узел ВАРУ МН РЛС «Гроза», [6]
5	УПЧ приемника МН РЛС «Гроза», [6]
6	Видеоусилитель МН РЛС «Гроза», [6]
7	Линейка АПЧ МН РЛС «Гроза», [6]
8	Канал синхронизации МН РЛС «Гроза», [6]
9	Усилитель канала наклона МН РЛС «Гроза», [6]
10	Возбудитель радиостанции «Полет», [11]
11	Тракт приемника радиостанции «Полет», [11]
12	Тракт передатчика радиостанции «Полет», [11]
13	Синтезатор частот радиостанции «Полет», [11]
14	Блок АКИ радиостанции «Полет», [11]
15	Синтезатор частот РЛС «Баклан», [7, 8]
16	Приемный тракт РЛС «Баклан», [7, 8]
17	Плата ФАПЧ радиостанции «Микрон», [10]
18	Блок опорного генератора радиостанции «Микрон», [10]
19	Дальномер «СД-75», [9]
20	Блок измерителя дальности РСБН, [9]
21	Канал VOR аппаратуры КУРС МП-70, [9]
22	Приемное устройство двухчастотной РЛС – основной канал, [12]
23	Приемное устройство двухчастотной РЛС – дополнительный канал, [12]
24	Устройство системы цифровой обработки и адаптации РЛС, [12]
25	Автоматический радиокompас «АРК-15М», [12]

Таблица 3.2

Данные для расчета показателей диагностирования и контролепригодности

Параметры							
№ вар.	$P_{\text{БОРТ}}$	P_2	P_3	P_4	P_5	P_{10}	P_{01}
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Переменная величина	0,05	0,9	0,95	0,25	0,035	0,02
2		0,045	0,95	0,9	0,3	0,04	0,015
3		0,03	0,95	0,95	0,25	0,03	0,01
4		0,01	0,99	0,99	0,2	0,01	0,01
5		0,02	0,95	0,95	0,3	0,01	0,015
6		0,01	0,95	0,99	0,2	0,03	0,01
7		0,015	0,9	0,95	0,25	0,01	0,02
8		0,025	0,95	0,9	0,35	0,03	0,025
9		0,02	0,99	0,99	0,3	0,015	0,01
10		0,01	0,95	0,99	0,2	0,03	0,02
11		0,02	0,9	0,95	0,3	0,045	0,04
12		0,03	0,9	0,95	0,45	0,05	0,05
13		0,01	0,9	0,95	0,4	0,05	0,05
14		0,05	0,99	0,99	0,7	0,03	0,02
15		0,03	0,95	0,99	0,3	0,02	0,01
16		0,02	0,99	0,95	0,4	0,01	0,02
17		0,03	0,995	0,99	0,4	0,02	0,15
18		0,04	0,99	0,99	0,2	0,01	0,03
19		0,01	0,95	0,99	0,3	0,03	0,01
20		0,03	0,99	0,95	0,15	0,02	0,02
21		0,02	0,985	0,99	0,3	0,015	0,01
22		0,04	0,9	0,95	0,2	0,04	0,03
23		0,025	0,95	0,99	0,4	0,02	0,015
24		0,15	0,985	0,9	1,3	0,01	0,025
25		0,01	0,95	0,99	0,3	0,03	0,01

В табл. 3.2 приведены следующие обозначения:

$P_{\text{БОРТ}}$ – вероятность работоспособного состояния ОТД перед контролем. Рассчитывается студентом, исходя из заданной диагностируемой системы (см. пункт 1.3);

P_2 – вероятность возникновения отказа в ОТД при контроле и диагностировании;

P_3 – вероятность исправности средства диагностики и контроля до начала диагностирования;

P_4 – вероятность исправного состояния средств диагностики и контроля в процессе диагностирования;

P_5 – вероятность восстановления отказавшего средства диагностики и контроля;

P_{01} – вероятность ошибки второго рода (вероятность принятия по результатам диагностирования неисправный ОТД за исправный);

P_{10} – вероятность ошибки первого рода (вероятность принятия по результатам диагностирования исправный ОТД за неисправный).

3.2. Типовая структура курсовой работы по разделам и объему

представляется в следующем виде:

- титульный лист (1 с.);
- задание на курсовую работу (1 с.);
- аннотация (1 с.);
- введение (1-1,5 с.);
- анализ особенностей функционирования рассматриваемого устройства (2-4 с.);
- построение функционально диагностической модели (3-5 с.);
- расчет показателей надежности функциональных элементов ФДМ (3-4 с.);
- выбор параметров контроля работоспособности и построение алгоритма поиска места отказа (3-4 с.);
- расчет показателей достоверности и контролепригодности (3-5 с.);
- разработка системы диагностики и контроля (2-4 с.);
- заключение (1-2 с.);
- список использованных источников (1 с.).

3.3. Характеристика содержания основных разделов

Титульный лист и задание на курсовую работу выполняются по установленному образцу (ЕСКД).

Введение содержит обоснование актуальности решения поставленной задачи, ее оценку с точки зрения перспектив развития радиотехнического оборудования.

Первый раздел содержит схему электрическую функциональную с параллельным анализом особенностей ее функционирования. Иными словами, студент, выполняющий работу, должен дать последовательные ответы на вопрос – какие физические процессы происходят в схеме, если выходной сигнал каждого узла не соответствует нормам технических параметров?

Во втором разделе строится функционально-диагностическая модель. Необходимо обратить внимание на число функциональных элементов ФДМ – оно, в обязательном порядке, должно лежать в пределах 10...15. Далее производится расчет вероятности безотказной работы и интенсивность отказов функциональных элементов, входящих в ФДМ. Студент, выполняющий работу,

должен обоснованно выбрать теоретическое распределение наработок до отказа, основываясь на характеристиках потоков отказов РЭО, типе и виде резервирования, используемого в анализируемой аппаратуре, периоде жизненного цикла, на котором производится или предполагается производить анализ, а также исходя из элементной базы РЭО. Так, например, совершенно невозможно использование показательного распределения при анализе устройств полностью выполненных на цифровых элементах. В третьем разделе производится выбор параметров контроля работоспособности, минимизация совокупности контролируемых параметров и строится алгоритм поиска места отказа. Затем производится детальный расчет показателей достоверности и контролепригодности. В ряде случаев, например, при определении длины теста диагностирования возможно определение соответствующих параметров, исходя из практического опыта деятельности студента.

Завершается работа предъявлением разработанной системы диагностики и контроля. В заключение необходимо сделать выводы об эффективности и возможностях реализации результатов работы.

Обязательно необходимо привести список используемой литературы, оформленный по установленным правилам.

4. Литература:

1. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1988.
2. Емельянов В.Е. Техническая диагностика авиационного радиоэлектронного оборудования // Методы и средства контроля: учеб. пособие. – М.: МГТУ ГА, 1998.
3. Мозгалеvский А.В., Гаскаров Д.В. Техническая диагностика. – М.: Высшая школа, 1975.
4. Бригер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978.
5. Васильев Б.В. Дистанционное управление надежностью и эффективностью радиоэлектронных устройств. – М.: Радио и связи, 1973.
6. Приданов В.Г. Самолетная метеонавигационная РЛС «Гроза». – Рига: РКИИГА, 1975.
7. Макурин М.И., Власов О.П., Матвейчук Н.М. Современные радиолокационные устройства воздушных судов («Градиент»). – Рига: РКИИГА, 1981.
8. Радиолокационные системы воздушных судов / под ред. П.С. Давыдова. – М.: Транспорт, 1988.
9. Радионавигационные системы воздушных судов / под ред. П.С. Давыдова. – М.: Транспорт, 1985.
10. Швед А.П., Ефремов Ю.В., Тягун Ф.Ф. Самолетное радиооборудование связи. – М.: Транспорт, 1981.
11. Радиосвязное оборудование аэронавтов / под ред. А.Ф. Логолева. – М.: Транспорт, 1975.

12. Радиолокационное оборудование автоматизированных систем УВД / под ред. А.А. Кузнецова. – М.: Транспорт, 1995.
13. Радионавигационное оборудование аэропланов / под ред. К.В. Мамарова. – М.: Транспорт, 1988.
14. Липницкий Е.Д. и др. Посадочный радиолокатор РП -3Г. – М.: Машиностроение, 1987.

Интенсивность отказов элементов радиотехнических устройств

Наименование элемента	Интенсивность отказа $\lambda \cdot 10^{-6} [ч^{-1}]$		
	min	max	сред.
1	2	3	4
Резисторы композиционные	0,297	0,005	0,043
Резисторы композиционные 0,25 Вт	–	–	0,016
Резисторы композиционные 0,5 Вт	–	–	0,06
Резисторы композиционные 2Вт	–	–	0,071
Резисторы композиционные переменные	0,533	0,007	0,053
Резисторы пленочные	0,058	0,017	0,03
Резисторы металлопленочные	0,4	0,004	0,2
Резисторы пленочные прецизионные	–	–	0,004
Резисторы постоянные	0,07	0,01	0,04
Резисторы постоянные многоваттные	0,065	0,009	0,028
Резисторы переменные (потенциометры)	0,5	0,02	0,26
Резисторы проволочные	0,197	0,046	0,087
Резисторы проволочные мощные	0,076	0,021	0,04
Резисторы проволочные переменные	0,807	0,02	0,091
Резисторы проволочные прецизионные	0,114	0,032	0,073
Резисторы угольные	0,888	0,005	0,045
Резисторы нелинейные	0,153	0,047	0,11
Конденсаторы бумажные	0,29	0,003	0,05
Конденсаторы бумажные с обратным напряжением менее 600 В	0,04	0,01	0,0025
Конденсаторы бумажные с обратным напряжением более 600 В	0,235	0,0083	0,09
Конденсаторы керамические	0,164	0,042	0,15
Конденсаторы керамические переменные	0,351	0,012	0,02
Конденсаторы слюдяные	0,132	0,005	0,075
Конденсаторы слюдяные с обратным напряжением менее 600 В	0,066	0,009	0,0375
Конденсаторы слюдяные фольговые	0,076	0,014	0,045
Конденсаторы танталовые	1,934	0,108	0,6
Конденсаторы воздушные переменные	0,082	0,01	0,034
Конденсаторы электролитические	0,513	0,003	0,035
Диоды германиевые	0,678	0,002	0,157
Диоды кремниевые	0,452	0,021	0,2
Диоды электривакуумные пальчиковые	1,5	0,3	0,4

Продолжение прил. 1

1	2	3	4
Диоды селеновые	0,6	0,11	0,2
Диоды выпрямительные высоковольтные	–	–	4,88
Транзисторы германиевые	1,91	0,6	0,9
Транзисторы германиевые с максимальной мощностью 2 мВт	–	–	0,4
Транзисторы германиевые с максимальной мощностью до 20 мВт	–	–	0,7
Транзисторы германиевые с максимальной мощностью до 200 мВт	1,4	0,33	0,6
Транзисторы германиевые средней и большой мощности	–	–	1,91
Транзисторы германиевые в ключевом режиме работы	0,71	0,1	0,4
Транзисторы кремниевые с максимальной мощностью до 150 мВт	1,44	0,45	0,84
Транзисторы кремниевые высокочастотные с максимальной мощностью до 1 Вт	1,67	0,16	0,5
Транзисторы кремниевые средней мощности до 4 Вт	0,84	0,21	0,74
Транзисторы кремниевые в ключевом режиме	0,848	0,25	0,7
Электривакуумные триоды пальчиковые	1,5	0,5	0,6
Триоды вакуумные микроволнового диапазона	–	–	9,66
Тетроды электривакуумные генераторные	–	–	0,9
Пентоды усилительные высокочастотные	5,81	1,25	3,5
Пентоды усилительные низкочастотные	4,73	1,07	4,1
Пентоды-преобразователи пальчиковые	1,4	0,4	0,6
Тиратроны маломощные	15,0	2,5	6,0
Тиратроны мощные	11,3	3,0	5,0
Стабилизаторы напряжения типа СГ2П	2,5	0,4	1,0
Неоновые лампы	1,52	0,019	0,1
Электронно-лучевые трубки с магнитным отклонением	3,1	0,94	1,65
Электронно-лучевые трубки с электрическим отклонением	2,0	0,96	1,02
Электронные лампы микроволновые	43,0	20,0	30,0
Клистроны	6,0	1,2	3,0
Магнетроны	1000,0	8,0	100,0
Лампы накаливания	1,18	0,1	0,64
Трансформаторы входные	2,08	0,12	1,09

Продолжение прил. 1

1	2	3	4
Трансформаторы звуковой частоты	0,04	0,01	0,02
Трансформаторы высокочастотные	0,062	0,019	0,045
Трансформаторы импульсные	0,285	0,03	0,17
Накальные трансформаторы	0,06	0,013	0,027
Анодные трансформаторы	1,69	0,03	0,5
Трансформаторы силовые	0,052	0,012	0,025
Трансформаторы развязывающие	0,093	0,011	0,03
Автотрансформаторы	–	–	0,06
Дроссели	2,22	0,07	0,34
Дроссели низкочастотные	–	–	0,175
Дроссели высокочастотные	–	–	2,1
Дроссели с насыщением	0,32	0,12	0,14
Катушки индуктивности	1,018	0,001	0,008
Катушки индуктивности настроечные	0,002	0,001	0,008
Реле	0,25	На 1к. группу	
Реле герметические закрытые	0,04	На 1к. группу	
Реле мощные	0,3	На 1к. группу	
Реле малогабаритные	0,25	На 1к. группу	
Переключатели кнопочные	0,07	На 1к. группу	
Переключатели блокировочные	0,5	На 1к. группу	
Переключатели плунжерные	0,12	На 1к. группу	
Переключатели поворотные	0,175	На 1к. группу	
Переключатели мощные	0,07	На 1к. группу	
Переключатели миниатюрные	0,25	На 1к. группу	
Разъемы штепсельные	на штырь	0,0624	
Разъемы с контрольным гнездом	на штырь	0,0004	
Разъемы штепсельные телефонные	на штырь	0,002	
Переходные колодки	12,3	0,8	5,2
Гнезда (на один штырь)	0,02	0,0002	0,01
Клеммы, зажимы	–	–	0,0005
Провода соединительные	0,12	0,008	0,015
Кабели	2,2	0,002	0,475
Предохранители плавкие	0,82	0,3	0,5
Соединения пайкой	–	–	0,01
Изоляторы	1,54	0,03	0,05
Синхронные электродвигатели	6,25	0,156	0,359
Электродвигатели постоянного тока	–	–	9,36
Сельсины	0,61	0,09	0,35
Антенны	–	–	0,36

Продолжение прил. 1

1	2	3	4
Волноводы гибкие	4,54	1,133	2,64
Волноводы жесткие	1,92	0,59	1,1
Выводы высокочастотные	4,22	1,131	2,63
Диоды германиевые точечные	–	–	0,7

Указание: для бортового РЭО поправочные коэффициенты для интенсивности отказов брать максимальными.

Содержание

Введение.....	3
1. Теоретическая часть.....	3
1.1. Техническая диагностика.....	3
1.2. Построение функционально-диагностических моделей.....	5
1.3. Расчет показателей безотказности диагностируемого устройства. Выбор совокупности диагностических параметров для контроля работоспособного состояния.....	8
1.4. Построение алгоритма ПМО информационным методом.....	9
1.5. Выбор и обоснование состава средств диагностирования при про- ведении технической диагностики.....	10
1.6. Расчет показателей диагностирования и контролепригодности	11
2. Практическая часть.....	16
2.1. Составление таблицы состояния.....	16
2.2. Построение алгоритма ПМО.....	17
2.3. Расчет показателей диагностирования.....	19
3. Задание на курсовую работу.....	20
3.1. РЭО, его блоки и составные части для построения ФДМ.....	20
3.2. Типовая структура курсовой работы по разделам и объему.....	22
3.3. Характеристика содержания основных разделов.....	22
4. Литература.....	23
Приложение 1	25