

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

Кафедра технической эксплуатации радиоэлектронного
оборудования воздушного транспорта
Д.А. Яковлева

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

ТРАНСПОРТНОГО РЭО

ПОСОБИЕ

по выполнению практических занятий

для студентов IV курса очной и
V курса заочной форм обучения
по специальности 25.05.03 (162107)

Москва - 2015

ББК 0561.5

Я 47

Рецензент канд. техн. наук Д.А. Затучный

Яковлева Д.А.

Я 47 Техническая диагностика транспортного РЭО: пособие по выполнению практических занятий. - М.: МГТУ ГА, 2015. - 32 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Техническая диагностика транспортного РЭО» по учебному плану специальности 25.05.03 (162107) для студентов IV курса очной и V курса заочной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 18.05.15 г. и методического совета 19.05.15 г.

Введение

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 физикохимических 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 дальнейшие *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.

Тема 1. Построение функционально-диагностических моделей РЭО.

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 графо-аналитических 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 выполнение, 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), строящегося по следующим правилам:

- 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.);

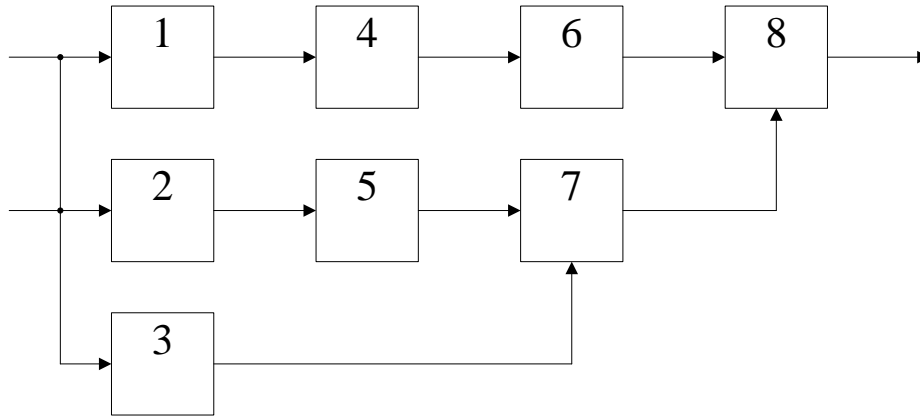


Рис.1. Функционально-диагностическая модель (ФДМ)

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);

4) в каждом функциональном элементе модели известны все номинальные значения входных и выходных сигналов, их функциональная зависимость, а также способ контроля;

5) в случае, когда выходной сигнал i -го элемента (блока) является входным сигналом для $i+1$ элемента (блока) – номинальные значения и допуски на сигналы совпадают. Если хотя бы на один из входов функционального элемента подано недопустимое воздействие, то выходная реакция функционального элемента должна быть тоже недопустимой;

6) состояние функционального элемента оценивается «1», если при подаче всех допустимых входных воздействий на выходе функционального элемента возникает допустимый отклик. Если при подаче всех допустимых входных воздействий реакция функционального элемента окажется недопустимой, то его состояние оценивается как «0»;

7) цепи и связи между функциональными элементами модели надежны. Вероятность появления двух отказов ничтожно мала (однородный поток отказов).

Если принять проверку в качестве реакции одного из функциональных элементов при подаче на модель всех допустимых внешних воздействий, то

можно построить так называемую таблицу состояний объекта. В таблице состояний число строк будет соответствовать числу проверок π_k (элементов) модели, а число столбцов – числу рассматриваемых состояний объекта s_i (табл.1.1 для ФДМ на рис.1). При этом каждый столбец будет содержать совокупность результатов всех проверок при одном состоянии объекта, а каждая строка – результаты одной проверки для всей совокупности рассматриваемых состояний объекта. Функциональная модель и составленная на ее основе таблица состояний позволяют для решения диагностических задач использовать формальный аппарат для определения оптимального количества необходимых проверок [1, 2].

Таблица 1.1

	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8
π_1	0	1	1	1	1	1	1	1
π_2	1	0	1	1	1	1	1	1
π_3	1	1	0	1	1	1	1	1
π_4	0	1	1	0	1	1	1	1
π_5	1	0	1	1	0	1	1	1
π_6	0	1	1	0	1	0	1	1
π_7	1	0	0	0	0	1	0	1
π_8	0	0	0	0	0	0	0	0

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

Задание

Для предложенных ниже схем построить функционально-диагностическую модель и таблицу состояний:

а) Функциональная схема передатчика вторичного канала АОРЛ-85 приведена на рис.2.

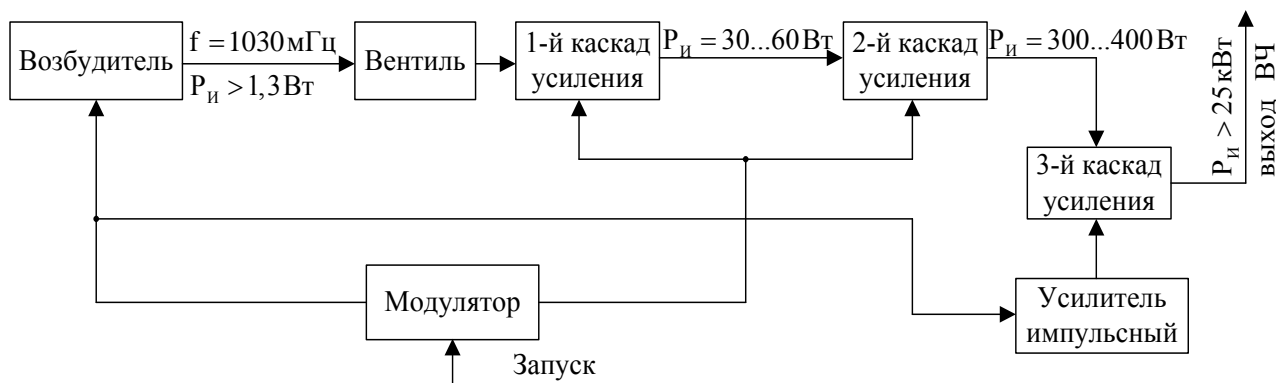


Рис.2. Функциональная схема передатчика вторичного канала АОРЛ-85.

б) Структурная схема малогабаритного имитатора сигналов МИМ-66 приведена на рис.3. На схеме использованы следующие обозначения: ФНЧС – формирователь низкочастотных сигналов СП, ILS и VOR; МГ – маркерный генератор; МУ – модулирующий усилитель; АТТ – аттенюаторы 0-10дБ и 0-100дБ; БВЧГ – блок высокочастотных генераторов; ИУВЧ и ВК – схема индикации уровня высоких частот и встроенного контроля.

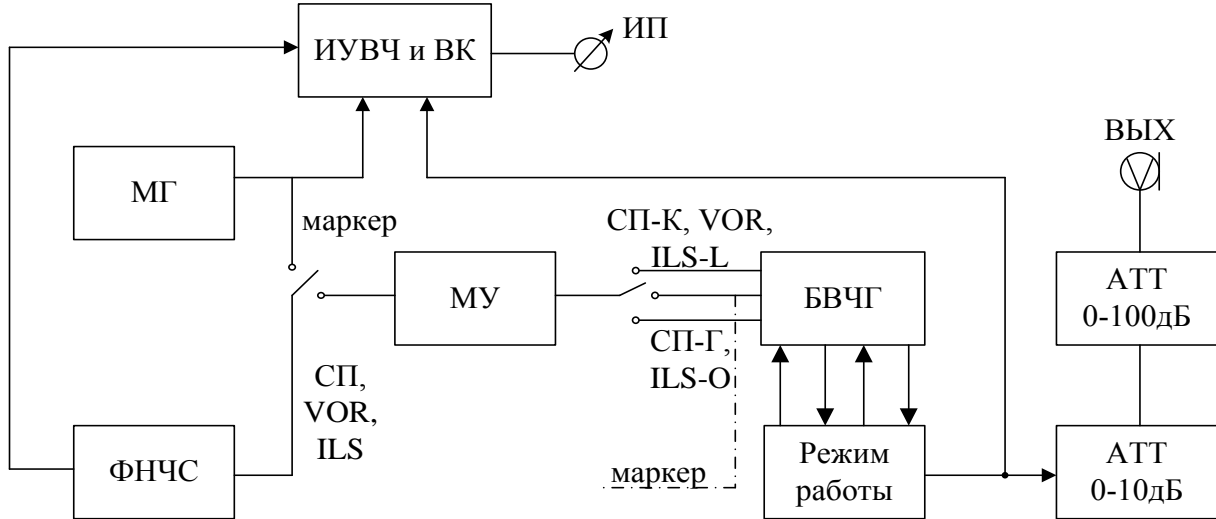


Рис.3. Структурная схема малогабаритного имитатора сигналов МИМ-66.

в) Структурная схема устройства подавления сигналов от неподвижных целей приведена на рис.4. На схеме использованы следующие обозначения: ПрЧ – преобразователь частоты; ВЗБ – возбуждатель ультразвуковой линии задержки, УЗЛЗ – ультразвуковая линия задержки 500мкс в термостате; Упр – управление термостатом; СМС – вычитающий смеситель частот; ИУ – избирательный усилитель 47МГц; УП – униполяризатор.

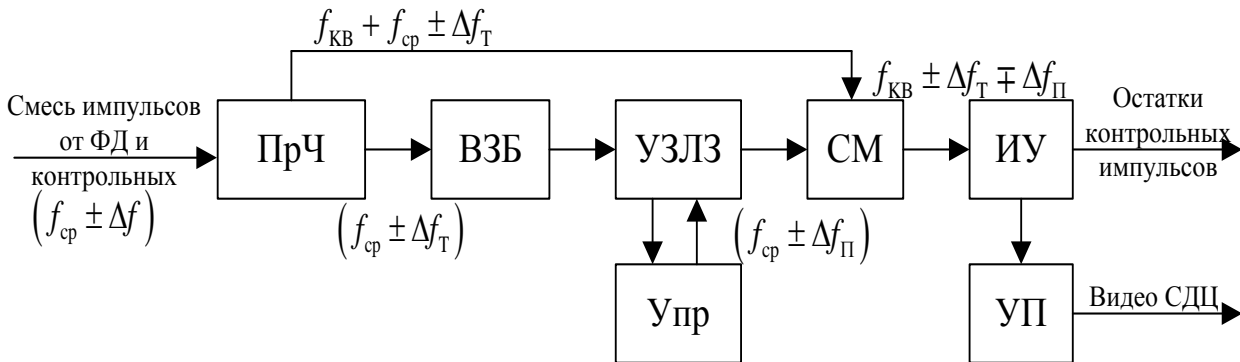


Рис. 4. Структурная схема устройства подавления сигналов от неподвижных целей.

г) Функциональная схема встроенной системы контроля (ВСК) РЛС приведена на рис. 5.

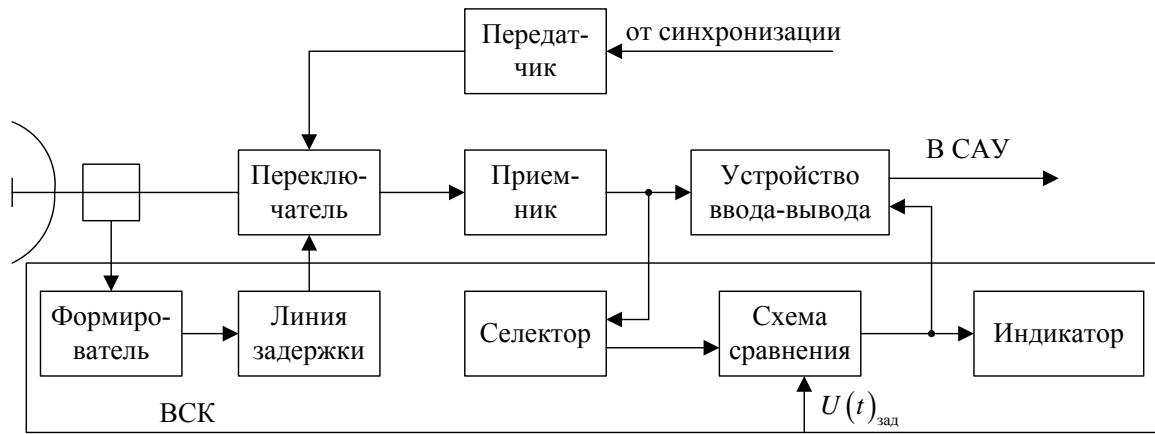


Рис. 5. Функциональная схема встроенной системы контроля РЛС.

Тема 2. Построение алгоритма поиска места отказа в РЭО по матрице состояний.

Более наглядно определить место отказа позволяет алгоритм поиска места отказа (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 требуемой 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 (информационный подход):

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

где $\sum_{i=1}^k Q_{ij}(1)$ – вероятность отказа элемента, имеющее значение «1» в строке состояния; $\sum_{i=1}^{n-k} Q_{ij}(0)$ – вероятность отказа элемента, имеющее значение «0» в строке состояния; j – порядковый номер проверки.

- 3) время, затрачиваемое на проведение той или иной проверки (метод время-безотказность):

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

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

- 4) различные комбинации первых трех принципов.

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

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

где $\sum_{i=1}^k Q_{ij}(1)$ – вероятность отказа элемента, имеющее значение «1» в строке состояния; $\sum_{i=1}^{n-k} Q_{ij}(0)$ – вероятность отказа элемента, имеющее значение «0» в строке состояния; j – порядковый номер проверки.

Пример. Рассмотрим построение алгоритма ПМО с помощью информационного подхода для схема представленной на рис.1.

Рассмотрим ФДМ (рис.1), полученную на основе некоторой электрической функциональной схемы. Устанавливаем, что входными блоками являются блока 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 состояний, перерисовываем ФДМ, исключив обратную связь (рис.6).

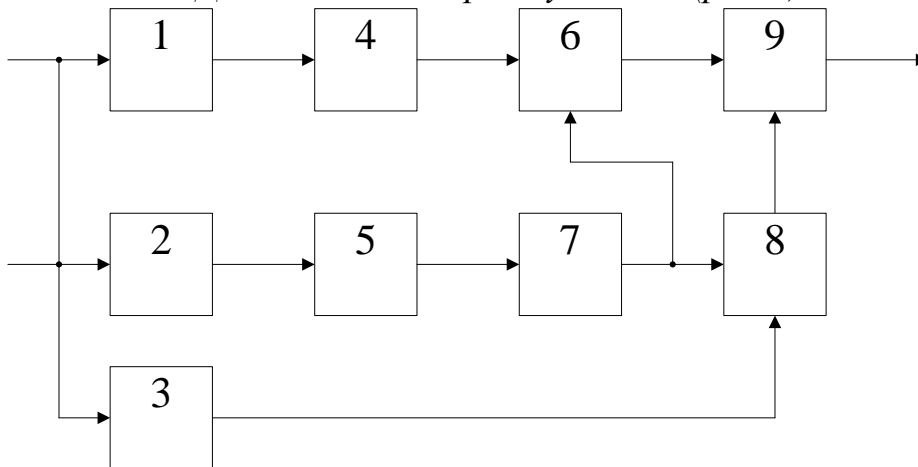


Рис.6. ФДМ после устранения обратной связи.

Приступаем к построению таблицы состояний

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) 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

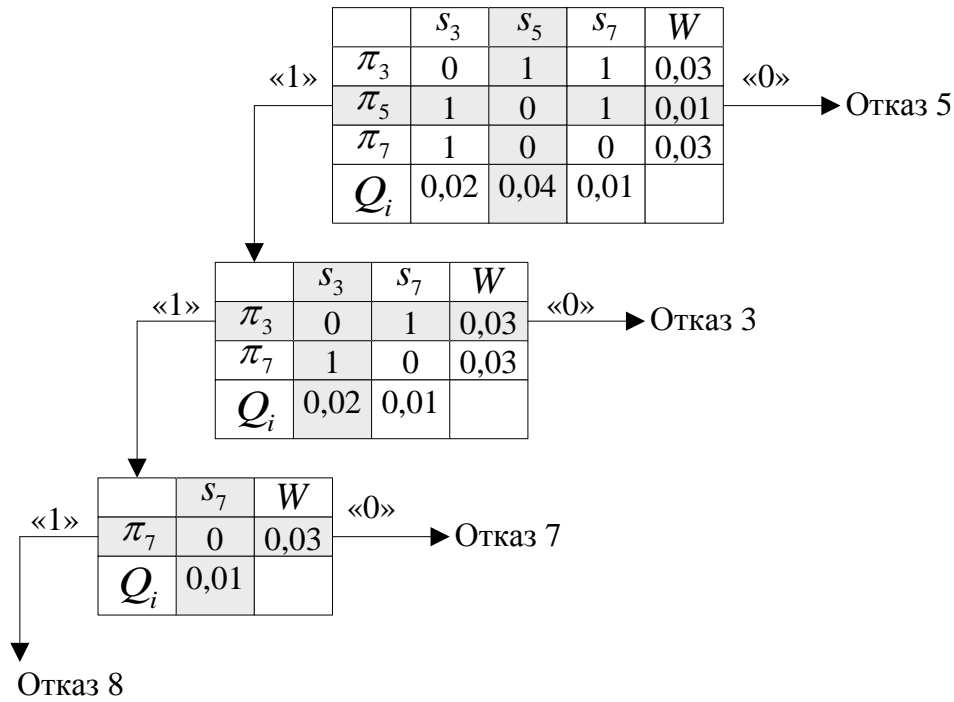
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	W
π_1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0,21
π_2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0,19
π_3	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0,23
π_4	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0,19
π_5	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0,11
π_6	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0,09
π_7	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0,09
π_8	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27
Q_i	0,03	0,04	0,02	0,01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

«0» ↓ ↓ «1»

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

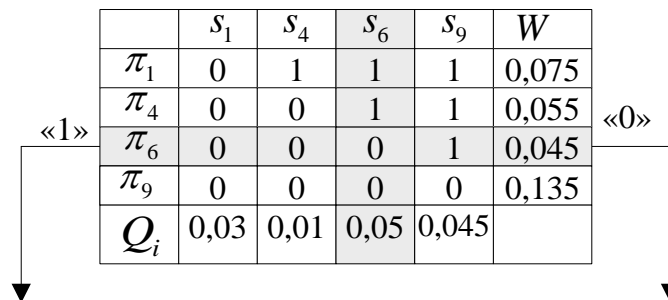
«1»		s_2	s_3	s_5	s_7	W
	π_2	0	1	1	1	0,03
	π_3	1	0	1	1	0,07
	π_5	0	1	0	1	0,05
	π_7	0	1	0	0	0,07
	Q_i	0,04	0,02	0,04	0,01	

«0» → Отказ 2

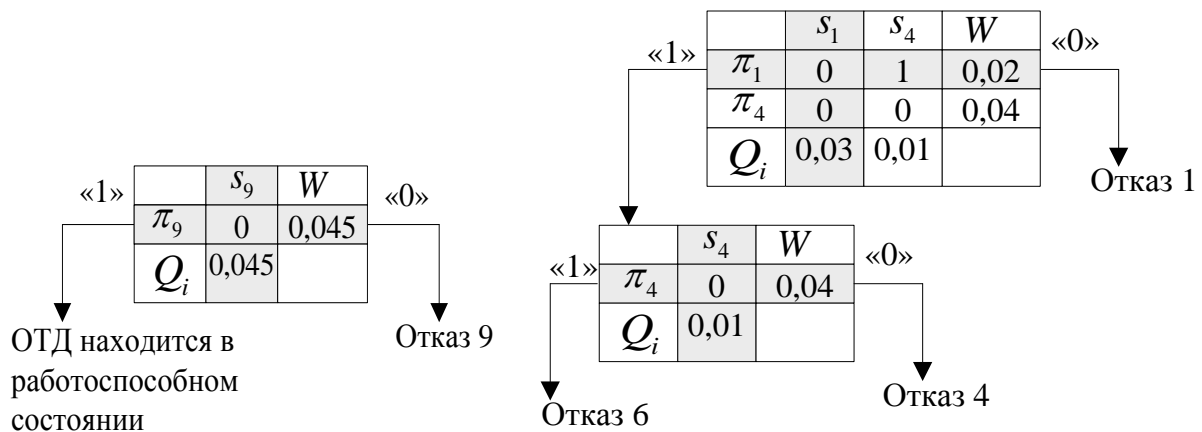


В каждой выше приведённой таблице мы выбрали минимальное значение W , которое показывало нам номер отказавшего блока.

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



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



В результате анализа мы получили алгоритм ПМО для предложенной ФДМ, который показан на рис.7.

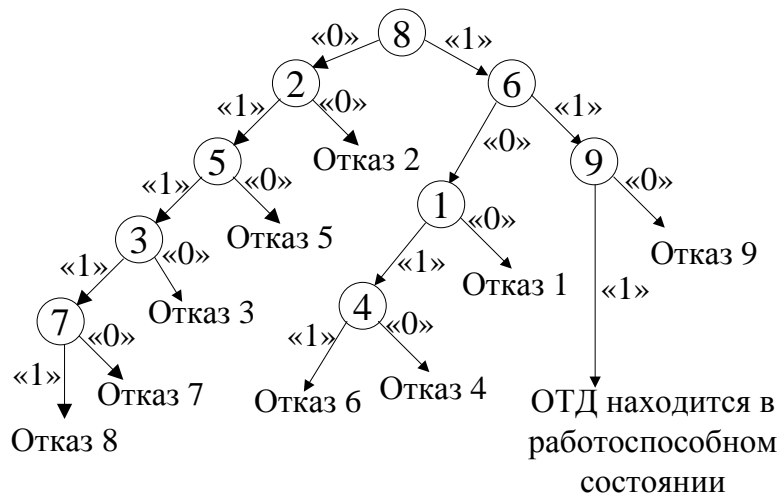


Рис. 7. Алгоритм ПМО

Задание

Для функционально-диагностических моделей, полученных в задании к теме 1 построить алгоритм поиска места отказа:

а) используя информационный подход и следующие данные:

Таблица 2.3.

Вероятность отказа для i -го блока	Схема А	Схема Б	Схема В	Схема Г
Q_1	0,01	0,05	0,04	0,01
Q_2	0,05	0,04	0,08	0,015
Q_3	0,03	0,03	0,09	0,035
Q_4	0,04	0,01	0,1	0,04
Q_5	0,02	0,02	0,06	0,09
Q_6	0,07	0,08	0,07	0,08
Q_7	0,02	0,07	0,075	0,05
Q_8	–	0,06	–	0,06
Q_9	–	–	–	0,045

б) используя метод время-безотказность и следующие данные:

Таблица 2.4

время	1	2	3	4	5	6	7	8	9
τ_0 , МИН	10	15	30	40	5	10	20	25	15

Вероятность отказа каждого блока взять из таблицы 2.3.
в) используя метод половинных разбиений.

Тема 3. Описание функционального состояния РЭО с помощью уравнений Колмогорова-Чепмена.

Под воздействием внешних условий и внутренних процессов деградации меняется техническое состояние РЭС – $S(t)$.

Исправное состояние объекта – это такое состояние, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической документации.

Неисправное состояние объекта – это такое состояние, при котором он не соответствует хотя бы одному требованию нормативно-технической документации. Каждое отдельное несоответствие изделия или его элемента установленным требованиям – это есть дефект.

Дефекты подразделяются на:

- Явные (для выявления которых в нормативной документации предусмотрены соответствующие правила, методы, средства);
- Значительные (влияющие на эффективность РЭС);
- Критические (при наличии которых использование изделий по назначению невозможно или нецелесообразно, при достижении дефектом критического уровня наступает отказ);
- Скрытые (для выявления которых соответствующие правила, методы, средства не предусмотрены);
- Устранимые (устранение которых технически возможно и экономически целесообразно).

Работоспособное состояние – состояние изделия, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации.

Неработоспособное состояние – состояние, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно-технической документации.

В неработоспособном состоянии система может функционировать.

На рис. 8 приведен обобщенный граф изменения состояний системы под влиянием деградационных процессов.

Процесс технической эксплуатации на стадии жизненного цикла можно представить как последовательную смену деградационных и управляющих воздействий. При этом на систему действуют три процесса: деградационный (понижающий работоспособность системы), поддерживающий работоспособность на определенном уровне и восстанавливающий работоспособность после наступления отказа.

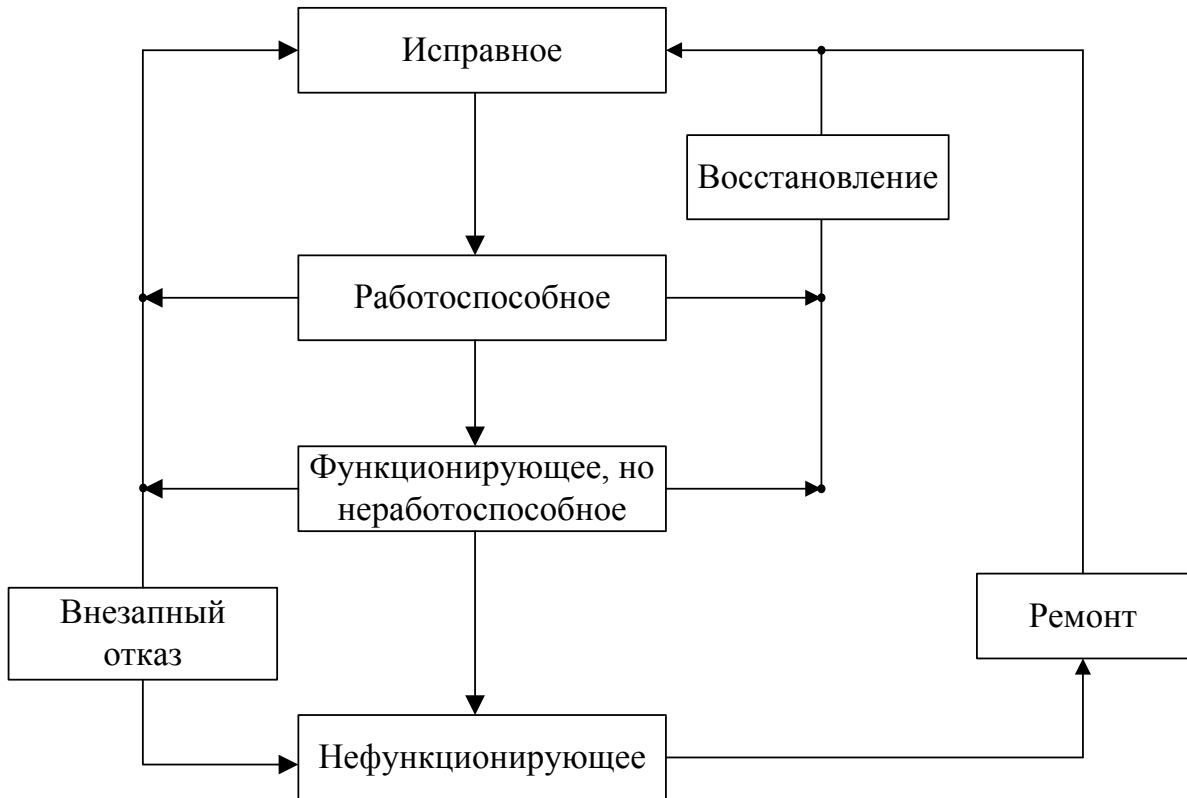


Рис 8. Граф перехода РЭС из одного состояния в другое.

С точки зрения обеспечения требуемого уровня безопасности полетов интерес представляют два состояния РЭС: $S_p(t)$ с вероятностью пребывания $P_1(t)$ в котором системы может использоваться по назначению, и $\bar{S}_p(t)$ с вероятностью $P_0(t)$ – система использоваться по своему назначению не может. На рис.9 приведен граф изменения состояния радиоэлектронной системы.

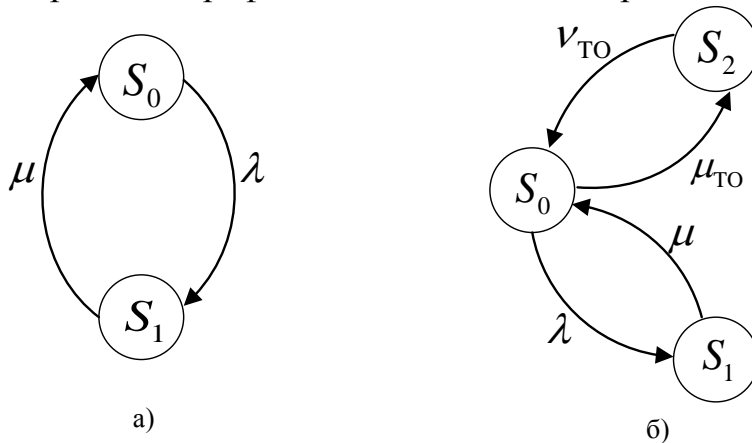


Рис.9. Изменения состояний РЭС: а) ориентированный граф изменения состояний восстанавливаемой РЭС, б) ориентированный граф изменения состояния РЭС при восстановлении и обслуживании.

Граф состояний (рис.9, б) может быть описан через систему из трех уравнений:

$$\dot{P}_0(t) = -(\lambda + \nu)P_0 + \mu_B P_1 + \mu_{ТО} P_2;$$

$$\dot{P}_1(t) = -\mu_B P_1 + \lambda P_0;$$

$$P_1(t) + P_2(t) + P_0(t) = 1 .$$

Переход из состояния в состояние является случайным процессом. Наиболее близкой к реальности моделью такого процесса, позволяющей, кроме того, связать вероятностные характеристики переходов с параметрами РЭО, как объектов диагностирования, представляется Марковский процесс.

Марковский процесс, протекающий в РЭО, обладает следующими свойствами: для любого момента времени $t = t_0$ вероятность любого состояния системы $P(S_i)$ зависит только от ее состояния в настоящий момент и не зависит от того, когда и каким образом РЭО оказалось в этом состоянии, другими словами будущее состояние процесса не зависит от его предыстории. Наиболее удобной моделью описания РЭО, как объекта диагностирования, является Марковский случайный процесс с дискретными состояниями и непрерывным временем, который иногда называют «непрерывной цепью Маркова». Характеристиками вероятностей перехода системы из состояния S_i в S_j является плотность вероятности перехода λ_{ij} (рис.10), которая может быть: $\lambda_{ij} = \text{const}$ в этом случае процесс называется однородным) или $\lambda_{ij} = \lambda_{ij}(t) = \text{var}$.

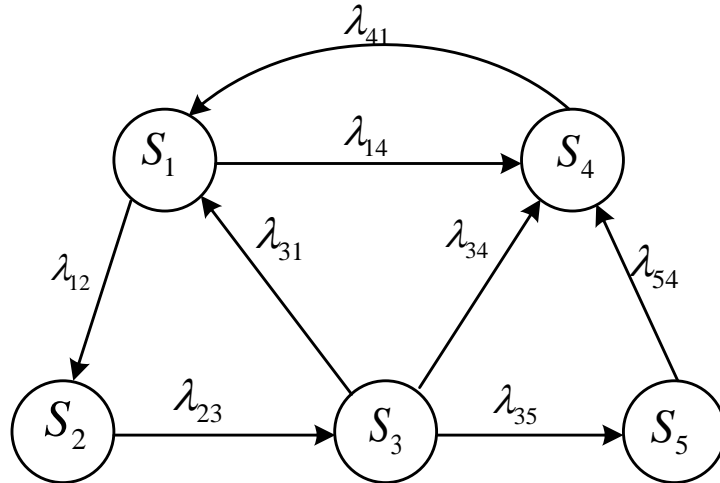


Рис.10 Граф состояний Марковского процесса.

При моделировании случайных процессов изменения состояния РЭО удобно представить, что переход из состояния в состояние осуществляется под воздействием потоков событий. Тогда плотность вероятностей переходов получают смысл интенсивностей λ_{ij} , и процесс моделирования будет Марковским, если эти потоки событий Пуассоновские (т.е. ординарные, без последствия и

постоянной интенсивности). Поток вероятности перехода из состояния S_i в S_j называется величина $\lambda_{ij}P_i(t)$. Для любого t справедливо $\sum_{i=1}^n P_i(t) = 1$.

В соответствии с теорией Марковских цепей, для нахождения вероятностей $P_i(t)$, необходимо решить систему дифференциальных уравнений вида:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n \lambda_{ji}P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^m \lambda_{ij}.$$

Систему уравнений составляют, используя ориентированный граф и следующим правилом: *производная вероятности каждого состояния равна сумме всех потоков вероятности, идущих из другого состояние в данное, минус сумма всех потоков вероятности, идущих из данного состояния в другое.* Такая система дифференциальных уравнений носит название системы уравнений **Колмогорова-Чепмена**. Для графа на рис.10 система уравнений Колмогорова-Чепмена будет иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1}{dt} = \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 - (\lambda_{12} + \lambda_{14})P_1; \\ \frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 - \lambda_{23}P_2; \\ \frac{dP_3}{dt} = \lambda_{23}P_2 - (\lambda_{34} + \lambda_{31} + \lambda_{35})P_3; \\ \frac{dP_4}{dt} = \lambda_{14}P_1 + \lambda_{34}P_3 + \lambda_{54}P_5 - \lambda_{41}P_4; \\ \frac{dP_5}{dt} = \lambda_{35}P_3 - \lambda_{54}P_5; \\ P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1. \end{array} \right.$$

Поскольку техническое диагностирование реализуется в РЭО длительного пользования и процессы, протекающие в них, длятся достаточно долго, для упрощения приведенных моделей ставится вопрос о предельных режимах, т.е. о поведении модели при $t \rightarrow \infty$. Поскольку потоки событий предполагаются простейшими (стационарными, пуассоновскими с $\lambda_{ij} = \text{const}$), существуют финальные (или предельные) вероятности $P_i = \lim_{t \rightarrow \infty} P_i(t)$ при $t \rightarrow \infty$, значения которых не зависят от того, в каком состоянии находилась система в начальный момент. Таким образом в модели устанавливается стационарный режим. В стационарном режиме моделируемое изделие также переходит из со-

стояния в состояние, но вероятности состояния остаются постоянными. Для вычислений предельных вероятностей состояний достаточно в вышеприведенной системе уравнений Колмогорова-Чепмена положить $\frac{dP_i}{dt} = 0$. Тогда система дифференциальных уравнений превращается в систему линейных алгебраических уравнений, которая может быть составлена непосредственно по графу состояний на основе следующего мнемонического правила: для каждого состояния суммарный поток выходящих потоков вероятности равен суммарному входящему потоку. Тогда для графа на рис.10 получаем систему линейных уравнений вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\lambda_{12} + \lambda_{14}) P_1 = \lambda_{31} P_3 + \lambda_{41} P_4; \\ \lambda_{23} P_2 = \lambda_{12} P_1; \\ (\lambda_{34} + \lambda_{31} + \lambda_{35}) P_3 = \lambda_{23} P_2; \\ \lambda_{41} P_4 = \lambda_{14} P_1 + \lambda_{34} P_3 + \lambda_{54} P_5; \\ \lambda_{54} P_5 = \lambda_{35} P_3; \\ P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1. \end{array} \right.$$

Решение такой системы линейных уравнений проще, чем дифференциальных.

Пример.

Решим предложенную систему линейных уравнение методом подстановки.

Из уравнения (3) системы получаем:

$$P_2 = \frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35}) P_3}{\lambda_{23}}.$$

Подставляем полученное выражение в уравнение (2):

$$P_1 = \frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35}) P_3}{\lambda_{12} \lambda_{23}}.$$

Из уравнения (5) системы получаем:

$$P_5 = \frac{\lambda_{35} P_3}{\lambda_{54}}.$$

Подставляем полученные выражения в уравнение (4):

$$P_4 = \frac{\lambda_{34} P_3 + \lambda_{35} P_3 + \frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35}) P_3}{\lambda_{12} \lambda_{23}}}{\lambda_{41}}.$$

Все полученные выражения для значений P_i подставляем в уравнение

(6):

$$\frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35})P_3}{\lambda_{12}\lambda_{23}} + \frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35})P_3}{\lambda_{23}} + P_3 + \frac{\lambda_{35}P_3}{\lambda_{54}} + \frac{\lambda_{34}P_3 + \lambda_{35}P_3 + \frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35})P_3}{\lambda_{12}\lambda_{23}}}{\lambda_{41}} = 1.$$

$$P_3 = \frac{1}{\frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35})}{\lambda_{23}} + \frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35})}{\lambda_{12}\lambda_{23}} + 1 + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{54}} + \frac{\lambda_{34} + \lambda_{35} + \frac{(\lambda_{31} + \lambda_{34} + \lambda_{35})}{\lambda_{12}\lambda_{23}}}{\lambda_{41}}}$$

Подставив в полученное выражение значения интенсивностей переходов, получим значение P_3 , а затем вычисляем оставшиеся значения P_i

Задание 1.

Найти вероятности нахождения РЭО в каждом из состояний, используя заданные графы состояний (рис.11). Интенсивности переходов или периоды заданы в таблице 3.1.

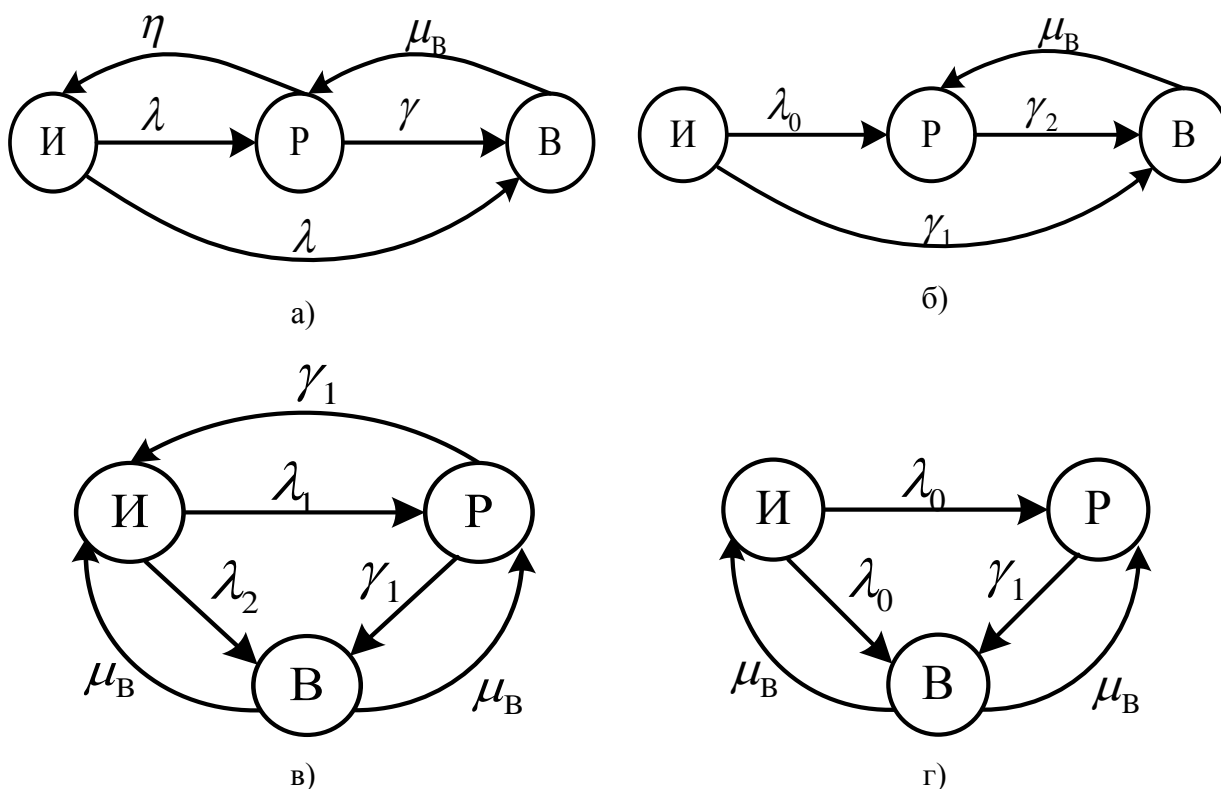


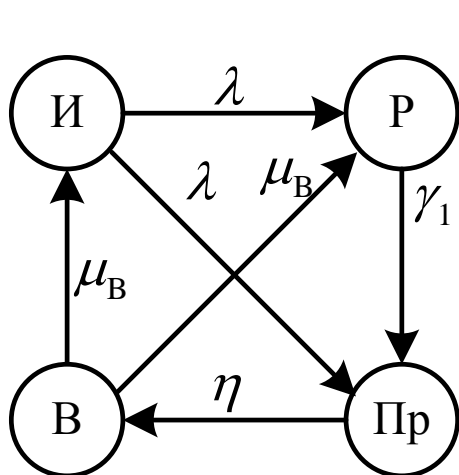
Рис. 11. Графы состояний РЭО.

Таблица 3.1.

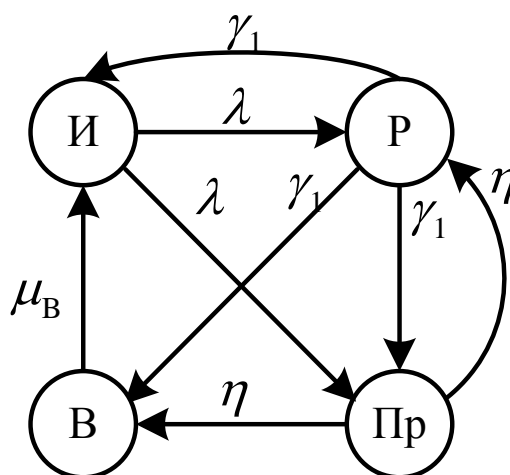
Переменные	а	б	в	г
$\lambda, [\text{ч}^{-1}]$	0,01	–	–	–
$\lambda_0, [\text{ч}^{-1}]$	–	–	–	0,03
$\lambda_1, [\text{ч}^{-1}]$	–	–	0,02	–
$\lambda_2, [\text{ч}^{-1}]$	–	–	0,04	–
$T_0, [\text{ч}]$	–	200	–	–
$\gamma_1, [\text{ч}^{-1}]$	–	0,005	0,005	
$\gamma_2, [\text{ч}^{-1}]$	–	0,001	–	–
$\gamma, [\text{ч}^{-1}]$	0,004	–	–	–
$\mu_B, [\text{ч}^{-1}]$	1	–	0,4	–
$T_B, [\text{ч}]$	–	2	–	2,5
$\eta, [\text{ч}^{-1}]$	0,002	–	–	–

Задание 2.

Найти вероятности нахождения РЭО в каждом из состояний, используя заданные графы состояний (рис.12). Интенсивности переходов или периоды заданы в таблице 3.2.



а)



б)

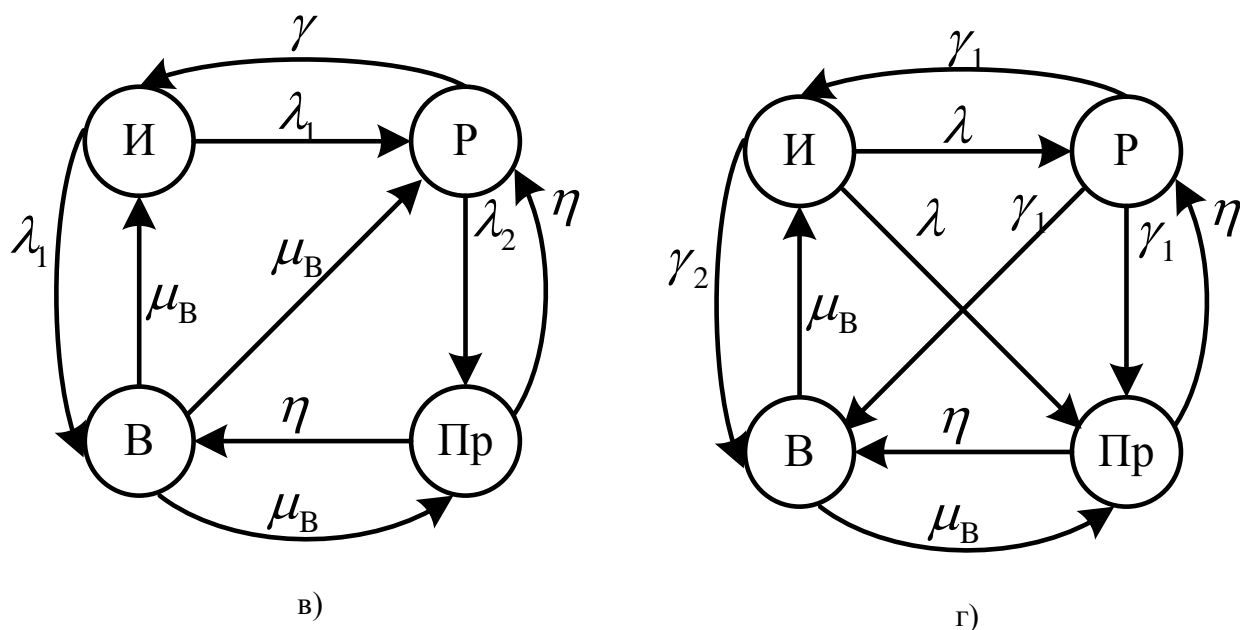


Рис. 12. Графы состояний РЭО.

Таблица 3.2.

Переменные	а	б	в	г
$\lambda, [\text{ч}^{-1}]$	0,01	0,025	–	0,05
$\lambda_1, [\text{ч}^{-1}]$	–	–	0,02	–
$\lambda_2, [\text{ч}^{-1}]$	–	–	0,04	–
$\gamma_1, [\text{ч}^{-1}]$	0,005	0,005	–	0,001
$\gamma, [\text{ч}^{-1}]$	–	–	0,004	–
$\gamma_2, [\text{ч}^{-1}]$	–	–	–	0,005
$\mu_B, [\text{ч}^{-1}]$	0,4	–	1	–
$T_B, [\text{ч}]$	–	2	–	2,5
$\eta, [\text{ч}^{-1}]$	0,005	0,004	0,002	0,001

Тема 4. 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 и возмож-

ных путей решения поставленной задачи на основе графоаналитического метода.

Эффективность использования РЭО – комплексное понятие, объединяющее понятия: качество системы, качество эксплуатации системы, эксплуатационная ситуация.

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: достоверность 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 $K_{Т.У.}$ (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

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

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 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

$$P_{\text{доп}} = P_{\text{с.к.}} P_{\text{о.к.}},$$

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:

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

Соответственно вероятность:

$$\begin{aligned} P_{\text{о.к.}} &= (1 - P_2) P_1 (1 - P_{10}) + (1 - P_1)(1 - P_2) P_{01} + P_2 P_{01} = \\ &= (1 - P_2) [P_1 (1 - P_{10}) + (1 - P_1) P_{01}] + P_2 P_{01}. \end{aligned}$$

Вероятность того, что объект после диагностирования будет допущен к работе по назначению, определится:

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

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

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

Тогда формула для вычисления достоверности контроля принимает вид

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

В последнем выражении, 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

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

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 $\max(K_{\text{ТУ}})$. Целесообразность использования этого контроля заключается в том, что $K_{\text{ТУ}}$ – один из комплексных показателей системы выше-

го 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 (рис.13): S_1 – ОТД находится в исправном состоянии и готов к использованию; S_2 – в ОТД возник дефект, но ОТД готов к использованию, т.к. находится в работоспособном состоянии; S_3 – ОТД находится в неработоспособном, но функционирующем состоянии (открытый отказ); S_4 – ОТД находится в режиме диагностирования и восстановления (устранение дефектов и скрытых отказов); S_5 – ОТД восстанавливается после явного отказа с интенсивностью восстановления $\gamma = \mu_B = 1/\tau_B$.

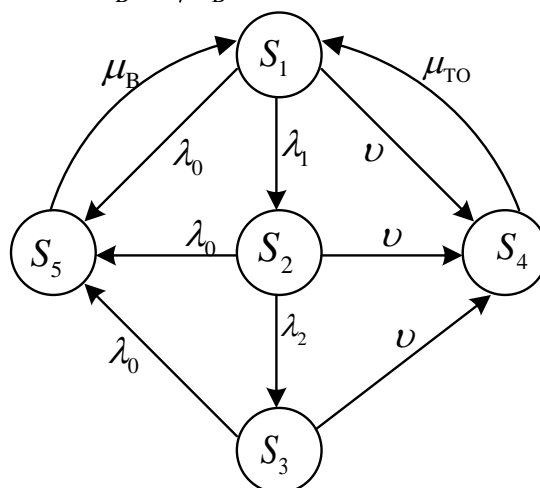


Рис.13. Граф состояния РЭО для расчета зависимости коэффициента технического использования от периода диагностирования.

Другие параметры потока переходов из состояния в состояние:

T_k – период контроля; $T_k = 1/\nu$;

τ_d – среднее время диагностирования в S_4 ; $\tau_d = 1/\mu = 1/\mu_{ТО}$;

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: составляется системы дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена (процесс изменения состояний пола-

гаем Марковским или стационарным), которая трансформируется в систему алгебраических уравнений.

Коэффициент технического использования находится как сумма вероятностей

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

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

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

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} .

Пример. Рассчитаем показатели диагностирования:

1. Достоверность контроля.

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

Тогда для $P_{С.К.}$ получаем:

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

Соответственно находим $P_{О.К.}$:

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

Подставляем полученные результаты и получаем $P_{ДОП}$:

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

Определяем P_p :

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

Окончательно находим:

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

2. Коэффициент целесообразности диагностирования:

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

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

Полученный результат свидетельствует о целесообразности проведения диагностирования.

Задание 1.

Используя данные таблицы 4.1., рассчитать показателя достоверности и диагностирования, построить график зависимости $K_D(P_1)$:

Таблица 4.1.

Данные для расчета показателей диагностирования и контролепригодности.

Параметры							
№ вар.	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_{10}	P_{01}
1.	0,97	0,05	0,9	0,95	0,25	0,035	0,02
2.	0,9975	0,045	0,95	0,9	0,3	0,04	0,015
3.	0,95	0,03	0,95	0,95	0,25	0,03	0,01
4.	0,945	0,01	0,99	0,99	0,2	0,01	0,01
5.	0,975	0,02	0,95	0,95	0,3	0,01	0,015

Задание 2.

Используя результаты задания 1 и 2 3-й тематической группы, рассчитать коэффициент технического использования для заданных графов.

Тема 5. Ошибки вида P_{ij} при однопараметрическом и многопараметрическом диагностировании

Вероятность ошибки диагностирования вида (i,j) P_{ij} – вероятность совместного наступления двух событий: ОД находится в техническом состоянии i , а по результатам диагностирования признается в состоянии j ($i \neq j$, если $i = j$ – показатель является вероятностью правильного определения технического состояния i ОД). Вероятность ошибки диагностирования вида (i,j) в случае диагностирования одного параметра определяется из формулы:

$$P_{ij} = P_i^0 \sum_{l=1}^k P_l^c P_{jil}^y = \sum_{l=1}^k P_l^c P_{jl}^a P_{ijl}^b,$$

где k – число состояний средства диагностирования, P_i^0 – априорная вероятность нахождения ОД в состоянии i ; P_l^c – априорная вероятность нахождения

СрДК в состоянии l ; P_{jl}^y – условная вероятность того, что в результате диагностирования ОД признан находящимся в состоянии j при условии, что он находится в состоянии i , а СрДК – в состоянии l ; P_{jl}^a – условная вероятность получения результата: «ОД в состоянии j », при условии, что СрДК в состоянии l ; P_{ijl}^b – условная вероятность нахождения ОД в состоянии i , при условии, что получен результат «ОД в состоянии j », а СрДК находится в состоянии l .

Рассмотри две вероятности: 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).

$$P_{01} = P_0^0 \sum_{l=1}^k P_l^c P_{10l}^y = \sum_{l=1}^k P_l^c P_{1l}^a P_{01l}^b,$$

$$P_{10} = P_1^0 \sum_{l=1}^k P_l^c P_{01l}^y = \sum_{l=1}^k P_l^c P_{0l}^a P_{10l}^b.$$

В случае определения состояния ОД совокупностью n независимых диагностических параметров ($\nu = \overline{1, n}$) вероятности ошибок вида (0,1) и (1,0) принимают следующий вид:

$$P_{01} = \sum_{l=1}^k P_l^c \left[\prod_{\nu=1}^n (P_\nu - \alpha_{\nu l} + \beta_{\nu l}) - \prod_{\nu=1}^n (P_\nu - \alpha_{\nu l}) \right],$$

$$P_{10} = \sum_{l=1}^k P_l^c \left[\prod_{\nu=1}^n P_\nu - \prod_{\nu=1}^n (P_\nu - \alpha_{\nu l}) \right],$$

где P_ν – априорная вероятность нахождения диагностического параметра в поле допуска; $\alpha_{\nu l}$ – вероятность совместного наступления двух событий: диагностический параметр – в поле допуска, а считается находящимся вне поля допуска при условии, что СрДК находится в состоянии l , $\beta_{\nu l}$ – вероятность совместного наступления двух событий: диагностический параметр находится все поля допуска, а его считают находящимся в поле допуска при условии, что СрДК находится в состоянии l .

Пример. Рассмотрим случай, когда система диагностики и контроля имеет три состояния: $l=1$ – работоспособное, индексация правильная; $l=2$ – неработоспособное, индексация «ОД работоспособен»; $l=3$ – неработоспособное, индексация «ОД неработоспособен». С учетом этого вероятности ошибок диагностирования будут иметь вид:

$$P_{10} = P_1^c \left[\prod_{v=1}^n P_v - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{vl}) \right] + P_3^c \prod_{v=1}^n P_v,$$

$$P_{01} = P_1^c \left[\prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{vl} + \beta_{vl}) - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{vl}) \right] + P_3^c \left(1 - \prod_{v=1}^n P_v \right).$$

В случае если $P_1^c = 1$, $P_2^c = P_3^c = 0$:

$$P_{10} = \prod_{v=1}^n P_v - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{vl}),$$

$$P_{01} = \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{vl} + \beta_{vl}) - \prod_{v=1}^n (P_v - \alpha_{vl}).$$

Задание.

Используя таблицу 5.1. , рассчитать вероятности ошибок диагностирования и достоверность диагностирования для следующих условий:

- а) $P_1^c = 1$, $P_2^c = P_3^c = 0$;
- б) $P_1^c = 0,95$, $P_2^c = P_3^c = 0,025$;
- в) $P_1^c = 0,93$, $P_2^c = 0,02$, $P_3^c = 0,05$.

Таблица 5.1.

n	1	2	3	4	5
P_v	0,98	0,97	0,95	0,975	0,985
α_{vl}	0,01	0,01	0,025	0,01	0,005
β_{vl}	0,01	0,02	0,025	0,015	0,01

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). Учебное пособие. М.: МГТУ ГА, 1998.
- 3) **Мозгалевский 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.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
Тема 1 Построение функционально-диагностических моделей РЭО.....	5
Тема 2 Построение алгоритма поиска места отказа в РЭО по матрице состояний.....	9
Тема 3 Описание функционального состояния РЭО с помощью уравнений Колмогорова-Чепмена.....	14
Тема 4 . Расчет показателей диагностирования и контролепригодности.....	21
Тема 5 Ошибки вида P_{ij} при однопараметрическом и многопараметрическом диагностировании.....	27
Литература	29

Для заметок

	Подписано в печать 17.06.15г.	
Печать офсетная	Формат 60x84/16	1,6 уч.-изд. л.
1,86 усл.печ.л.	Заказ № 2032/	Тираж 100 экз.

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