



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

В.Е. Емельянов, А.А. Илюхин

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
В ЗАЩИЩЕННЫХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМАХ**

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ №1-7**

*для студентов V курса
специальности 10.05.02
очной формы обучения*

**Москва
2017**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

Кафедра основ радиотехники и защиты информации

В.Е. Емельянов, А.А. Илюхин

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ
И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
В ЗАЩИЩЕННЫХ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ №1-7**

*для студентов V курса
специальности 10.05.02
очной формы обучения*

Москва-2017

ББК 531.7

Е60

Рецензент канд. техн. наук, доц. Д.Н. Яманов

Емельянов В.Е., Илюхин А.А.

Е60 Специальные измерения и техническая диагностика в защищенных телекоммуникационных системах: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ №1-7. М.: МГТУ ГА, 2017. – 72 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Специальные измерения и техническая диагностика в защищенных телекоммуникационных системах» по учебному плану для студентов V курса специальности 10.05.02 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 12.04.2017 г. и методического совета 14.04.2017 г.

Подписано в печать 14.06.2017 г.

Печать офсетная
4,16 усл.печ.л.

Формат 60x84/16
Заказ № 1725/182

2,14 уч.-изд. л.
Тираж 60 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д.20
ООО «ИПП «ИНСОФТ»
107140, г. Москва, 3-й Красносельский переулок д.21, стр.1

© Московский государственный
технический университет ГА, 2017

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Исследование параметров технической эксплуатации ТС СЗИ»

Цель работы – изучение зависимости коэффициента технического использования ТС СЗИ от параметров процесса технической эксплуатации.

Домашнее задание

1. Изучение теоретического материала.
2. Анализ модели процесса ТЭ СЗИ.
3. Изучение алгоритма решения задачи и составление программы вычислений.

Основные теоретические сведения

На стадии технической эксплуатации изделия СЗИ подвергаются различного рода внешним воздействиям. В самих изделиях неизбежно протекают процессы износа, старения, выработки ресурса. Под влиянием внешних условий эти процессы могут протекать быстрее или медленнее, но они неизбежно сопутствуют реальной физической системе. Всё это приводит к тому, что на стадии эксплуатации технические параметры (ТП) и, как следствие, параметры функционального использования (ПФИ) изменяются во времени в сторону ухудшения их значений. В аппаратуре происходят деградационные процессы.

Деградационные процессы приводят к изменению во времени параметров элементов радиоэлектронных схем, что, в свою очередь, приводит к изменению технических характеристик РЛС и в итоге к изменению функциональных характеристик.

На рис.1 представлена модель смены состояний ОТО в процессе ТО. Данная модель включает состояния изменения работоспособности, контроль и восстановление.

В зависимости от степени изменения параметров СЗИ может условно пребывать в следующих состояниях:

- исправное – когда ТП и ПФИ соответствуют требованиям нормативно-технической документации;
- работоспособное – когда ПФИ соответствуют нормам технических параметров;
- функционирование – когда СЗИ способно выполнять свои функции в заданных условиях, несмотря на то, что один или несколько ПФИ не соответствуют нормам ТП.

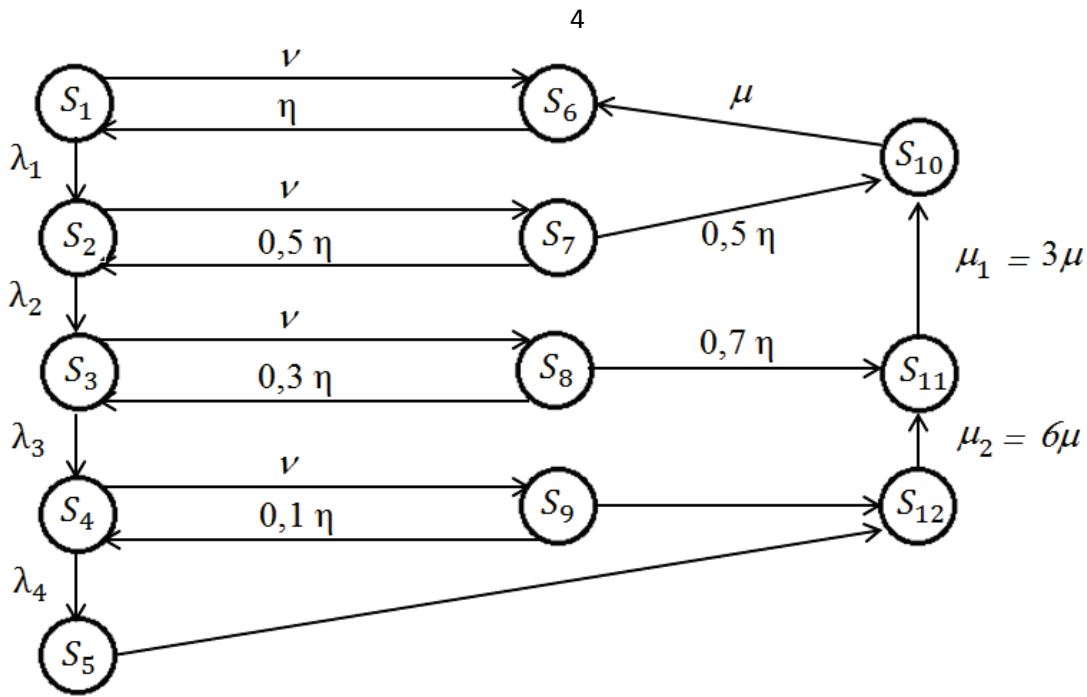


Рис.1. Модель изменения состояния СЗИ в процессе ТО

Для функционального использования пригодны только работоспособное и исправное состояния. Чем больше времени пребывания в этих двух состояниях, тем больше величина коэффициента технического использования.

В соответствии с представленной моделью система может находиться в следующих состояниях:

- S_1 – исправное состояния объекта диагностирования (ОД);
- S_2 – работоспособное состояние ОД (в ОД дефект);
- S_3 – предельное работоспособное состояние ОД;
- S_4 – состояние функционирования ОД;
- S_5 – состояние отказа;
- S_7 – контроль работоспособного состояния ОД;
- S_8 – контроль предельного состояния ОД;
- S_9 – контроль состояния функционирования;
- S_{10} – восстановление исправности ОД;
- S_{11} – восстановление работоспособного состояния ОД;
- S_{12} – восстановление функционирования.

Потоки, управляющие изменением состояний, принимаем пуассоновскими, процессы считаем марковскими. Тогда:

- λ_1 – параметр потока возникновения дефекта;
- λ_2 – параметр потока развития дефекта;
- λ_3 – параметр потока возникновения отказа;

- λ_4 – параметр потока прекращения функционирования;
- $\nu = 1/T_K$ – частота контроля состояния;
- $\eta = 1/\tau_K$; τ_K – время контроля восстановления;
- $\mu_B = 1/\tau_6$; τ_6 – время восстановления исправности;
- $\mu_{B_1} = 1/\tau_{6p}$; τ_6 – время восстановления работоспособности;
- $\mu_{B_2} = 1/\tau_{6o}$; τ_{6o} – время установления отказа.

ОТО будет работать при наступлении различных отказов, не связанных с полным прекращением функционирования. В состоянии S_1 система полностью исправна и работоспособна. Если в системе появился дефект, то она перейдёт в работоспособное состояние S_2 и будет продолжать оставаться в эксплуатации. Дальнейшее проявление дефекта переведёт ОТО в предельное работоспособное состояние S_3 . Перерастание дефекта в частичный отказ выведет ОТО из нормальной работоспособности и переведёт его в функционирующее состояние S_4 . При наступлении полного отказа ОТО с вероятностью $P(\lambda_4)$ переходит в нефункционирующее состояние S_5 .

Через определённые промежутки времени (с частотой, кратной η) в ОТО проводят контроль технического состояния. По результатам контроля объект СЗИ поступает на восстановление, либо остаётся в эксплуатации. После устранения отказа (или дефекта) перейдёт в состояние S_1 с вероятностью $P(\mu)$.

В качестве математической модели процесса технической эксплуатации изделий СЗИ используется система дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена вида:

$$\frac{\partial P_i(t)}{\partial t} = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^n \lambda_{ij},$$

где P_i, P_j – вероятности пребывания системы в произвольный момент времени в том, или ином состоянии; $\lambda_{ij}, \lambda_{ji}$ – интенсивности перехода РЭО из одного состояния в другое.

Для определения вероятности пребывания системы в произвольный момент времени в том, или ином состоянии необходимо определять эти вероятности при $t \rightarrow \infty$ (т.е. $P_i \rightarrow const$; $\frac{\partial P_i}{\partial t} \rightarrow 0$). В этом случае вместо системы дифференциальных уравнений необходимо решать систему алгебраических уравнений. Предлагаем процесс смены состояний марковским, запишем систему дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial P_1(t)}{\partial t} &= P_6(t)\eta - (\lambda_1 + \nu)P_1(t); \\
\frac{\partial P_2(t)}{\partial t} &= 0,5P_1(t)\eta + P_1(t)\lambda_1 - (\lambda_2 + \nu)P_2(t); \\
\frac{\partial P_3(t)}{\partial t} &= 0,3P_8(t)\eta + P_2(t)\lambda_2 - (\nu + \lambda_3)P_3(t); \\
\frac{\partial P_4(t)}{\partial t} &= 0,1P_9(t)\eta + P_3(t)\lambda_3 - (\lambda_4 + \nu)P_4(t); \\
\frac{\partial P_5(t)}{\partial t} &= P_4(t)\lambda_4 - P_5(t)\eta; \\
\frac{\partial P_6(t)}{\partial t} &= P_1(t)\nu + P_{10}(t)\mu - P_6(t)\eta; \\
\frac{\partial P_7(t)}{\partial t} &= P_2(t)\nu - P_1(t)(0,5\eta + 0,5\eta); \\
\frac{\partial P_8(t)}{\partial t} &= P_3(t)\nu - P_8(t)(0,3\eta + 0,7\eta); \\
\frac{\partial P_9(t)}{\partial t} &= P_4(t)\nu - P_9(t)(0,1\eta + 0,9\eta); \\
\frac{\partial P_{10}(t)}{\partial t} &= 0,5P_1(t)\eta + P_{11}(t)\mu_1 - P_{10}(t)\mu; \\
\frac{\partial P_{11}(t)}{\partial t} &= 0,7P_8(t)\eta + P_{12}(t)\mu_2 - P_{11}(t)\mu_1; \\
\frac{\partial P_{12}(t)}{\partial t} &= 0,9P_9(t)\eta + P_5(t)\eta - P_{12}(t)\mu_2.
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^{12} P_i = 1.$$

В стационарном режиме работы при достаточной длительности процесса эксплуатации ($t \rightarrow \infty$) система дифференциальных уравнений трансформируется в систему алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned}
P_6\eta - (\lambda_1 + \nu)P_1 &= 0; \\
0,5P_1\eta + P_1\lambda_1 - (\lambda_2 + \nu)P_2 &= 0; \\
0,3P_8\eta + P_2\lambda_2 - (\nu + \lambda_3)P_3 &= 0; \\
0,1P_9\eta + P_3\lambda_3 - (\lambda_4 + \nu)P_4 &= 0; \\
P_4\lambda_4 - P_5\eta &= 0; \\
P_1\nu + P_{10}\mu - P_6\eta &= 0; \\
P_2\nu - P_1(0,5\eta + 0,5\eta) &= 0; \\
P_3\nu - P_8(0,3\eta + 0,7\eta) &= 0; \\
P_4\nu - P_9(0,1\eta + 0,9\eta) &= 0; \\
0,5P_1\eta + P_{11}\mu_1 - P_{10}\mu &= 0; \\
0,7P_8\eta + P_{12}\mu_2 - P_{11}\mu_1 &= 0; \\
0,9P_9\eta + P_5\eta - P_{12}\mu_2 &= 0.
\end{aligned} \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{12} P_i = 1.$$

В состояниях S_1, S_2, S_3 наш объект может быть использован по функциональному назначению, поэтому коэффициент технического использования можно представить как функцию

$$K_{ТИ}(t) = P(S_1) + P(S_2) + P(S_3).$$

Для решения системы линейных уравнений на ЭВМ используется метод Гаусса, называемый также методом исключения.

Структурная схема алгоритма, предлагаемого для решения задачи, приведена на рис. 2.

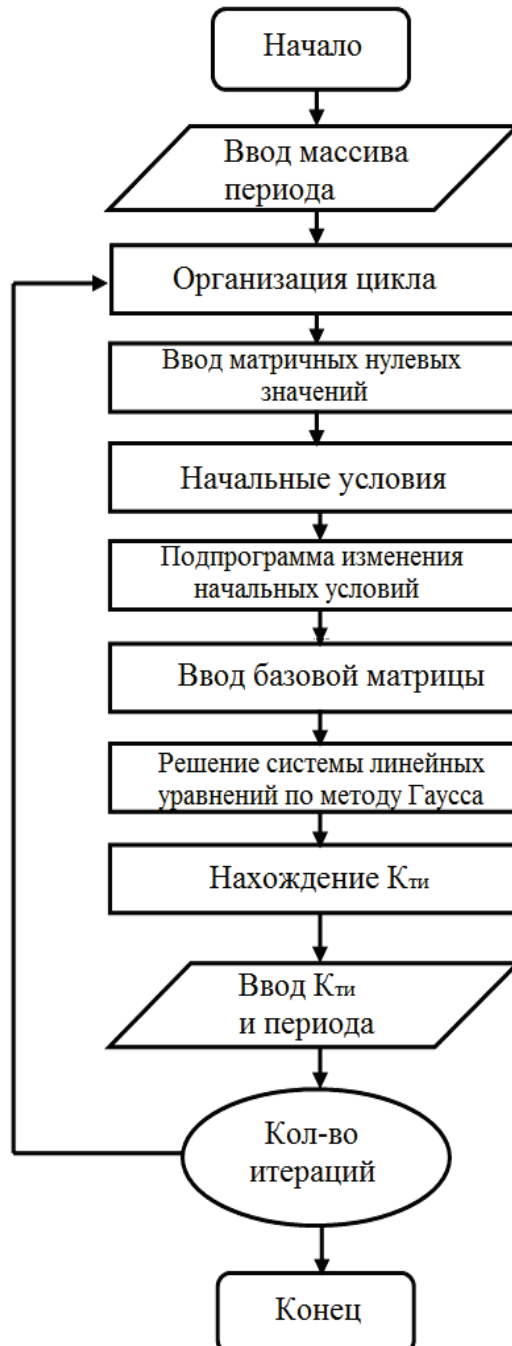


Рис. 2. Алгоритм решения задачи

Проведение лабораторного исследования

После ввода и отладки программы вычислений, составленной индивидуально каждым студентом, проводятся расчёты в соответствии с начальными условиями и оптимизируемыми переменными, указанными в таблице 1 для каждой бригады.

Таблица 1

Бригада	1	2	3	4	5	6	7
$T_K = 1/\nu$	массив (7 ч)	массив (6 ч)	массив (10 ч)	массив (30 ч)	массив (15 ч)	15 ч 10 ч 1 ч	30 ч 20 ч 0,5 ч
$T_0 = 1/\lambda$	500 ч 3000 ч 110 ч	1100 ч 800 ч 360 ч	700 ч 450 ч 100 ч	900 ч 600 ч 250 ч	2000 ч 1000 ч 520 ч	массив	массив
$T_0 = 1/\lambda$	массив (2,8 ч)	массив (3,5 ч)	3 ч 7 ч	4 ч 8 ч	5 ч 9 ч	4 ч 12 ч	10 ч 2 ч
$\tau_K = 1/\eta$	массив	массив	массив	массив	массив	массив	массив

Требования к отчету

По результатам лабораторной работы каждому студенту необходимо составить индивидуальный отчет, содержащий иллюстративный материал зависимости коэффициента технического использования от параметров процесса технической эксплуатации.

Содержание отчёта

1. Модель изменения состояний СЗИ в процессе ТО.
2. Систему уравнений Колмогорова-Чепмена.
3. Краткое описание метода Гаусса.
4. Алгоритм решения задачи.
5. Распечатку с результатами счёта на ПЭВМ*.
6. Построенные графики и зависимости.
7. Выводы по работе.

* При наличии принтера в лаборатории. (Для всех лабораторных работ)

Контрольные вопросы

1. Структурная схема и характеристики системы технического диагностирования и технического обслуживания.
2. Модель изменения состояния СЗИ в процессе ТО.
3. Марковские процессы и уравнение Колмогорова-Чепмена.
4. Моделирование процессов ТО и Р.
5. Марковская модель ТО СЗИ по наработке.
6. Марковская модель ТО СЗИ по состоянию с контролем параметров.
7. Марковская модель ТО СЗИ по состоянию с контролем надёжности.
8. Сущность метода Гаусса.
9. Решение системы линейных уравнений методом Гаусса. Алгоритм.
10. Сущность обратной постановки при решении уравнений методом Гаусса. Алгоритм.
11. Алгоритм решения задачи лабораторной работы.
12. Принцип построения программы вычисления.

Литература

1. Емельянов В. Е., Основы технической эксплуатации защищенных телекоммуникационных систем. М.: РИО МГТУГА, 2012;
2. Очков В. Ф., Mathcad 7 Pro для студентов и инженеров. М.: Компьютер Пресс, 1998.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Исследование процессов управления состоянием СЗИ при техническом обслуживании

Цель работы – исследование моделей управления состоянием РЭО в процессе технического обслуживания и получение экспериментальных значений его параметров.

Домашнее задание

1. Ознакомление с основными теоретическими сведениями.
2. Изучение индивидуального задания на лабораторные исследования.
3. Изучение базовой модели и алгоритма её решения.
4. Составление моделей процесса ТО, соответствующей заданному варианту.
5. Составление программы и структуры исходных данных.

Основные теоретические сведения

Случайный процесс называется марковским случайным процессом (процессом без последствий), если дальнейшее поведение процесса определяется его состоянием в данный момент времени и не зависит от его предыстории. Случайный марковский процесс называется процессом с дискретным состоянием, если возможные состояния изделия S_1, S_2, S_3, \dots можно перечислить (перенумеровать) одно за другим, а сам процесс состоит в том, что время от времени изделие скачком (мгновенно) переходит из одного состояния в другое под действием простейших потоков отказов и восстановлений отдельных элементов изделия.

При анализе изделия в процессе износа (старения) удобно пользоваться графом состояний, содержащим столько вершин, сколько различных состояний возможно у изделия. Рёбра графа состояний отражают возможные переходы из состояния во все остальные в соответствии с параметрами потоков отказов или восстановлений. Если для каждого состояния изделия (другими словами, для каждой вершины графа) вычислить вероятность изделия именно в этом состоянии, в любой произвольный момент времени $P_i(t)$, то, зная эти вероятности, можно количественно оценить процесс технического обслуживания объекта.

Связь между вероятностными находениями изделия во всех его возможных состояниях, в свою очередь, выражается системой дифференциаль-

ных уравнений Колмогорова-Чепмена. Структура уравнения Колмогорова-Чепмена построена по вполне определённым правилам: в левой части каждого уравнения Колмогорова-Чепмена записываются вероятности нахождения изделия в рассматриваемом состоянии (вершине графа), а правая часть содержит столько членов, сколько рёбер графа состояний связано с данной вершиной графа. Если ребро направлено из данной вершины, соответствующий член имеет знак минус, если в данную вершину – знак плюс. Каждый член равен произведению параметра потока отказа (восстановления), связанного с данным ребром, на вероятность нахождения в данной вершине графа, из которой исходит ребро. Система уравнений Колмогорова-Чепмена включает столько уравнений, сколько вершин в графе состояний изделия СЗИ. Решение системы уравнений Колмогорова-Чепмена при некоторых начальных условиях, определяется спецификой эксплуатации изделия СЗИ, даёт значение искомых вероятностей.

В общем случае применения теории случайных марковских процессов к решению задачи оценки показателей надёжности изделий СЗИ включается:

- составление списка всех возможных состояний изделия СЗИ;
- вычисление параметров потоков отказов и восстановлений для каждого состояния;
- составление графа состояний;
- запись системы дифференциальных уравнений Колмогорова-Чепмена;
- решение системы уравнений Колмогорова-Чепмена и определение коэффициента технического использования $K_{ТИ}$.

При решении задач организации системы технического обслуживания (СТО) часто приходится решать зависимость

$$P_j = P_j(\lambda_K); j = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (1)$$

где λ_K – любая выбранная интенсивность перехода; N – число состояний процесса; P_j – вероятность нахождения СТО в j -м состоянии.

Для определения вероятности пребывания СТО в работоспособном состоянии, необходимо найти зависимость

$$K_{ТИ} = \sum_{jp=1}^K P_{jp} = K_{ТИ}(\lambda_K). \quad (2)$$

Процесс взаимодействия элементов СТО описывается системой алгебраических уравнений $P \cdot A = 0$ при условии

$$\sum_i^N P_i = 1, \quad (3)$$

где $P = \|p_{ij}\|$ – матрица строки вероятностей пребывания в каждом состоянии;
 $A = \|a_{ij}\|$ – матрица коэффициентов.

Расширенная матрица коэффициентов A' имеет вид

$$A' = \begin{vmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1n} & 0 \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2n} & 0 \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ a'_{(n-1)1} & a'_{(n-1)2} & \dots & a'_{(n-1)n} & 0 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 1 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

где a'_{ij} – функция интенсивностей перехода СТО из состояний в состояние, а последняя строка матрицы A' заменена условием (3).

Матрица A' имеет следующие особенности:

- большая часть элементов a_{ij} матрицы – нули;
- элементы последней строки представляют собой единицы;
- элементы главной диагонали матрицы a'_{ij} отрицательны и имеют вид $a'_{ij} = -\psi_{ij}$ или $a'_{ij} = -(\psi_{ij} + \lambda_K)$, где ψ_{ij} – сумма интенсивностей всех возможных переходов, кроме λ_K , процесса из i -го в другие состояние;

- остальные нулевые элементы матрицы принимают значения интенсивностей соответствующих переходов.

Известные способы решения этой задачи требуют многократного ввода в ПЭВМ изменяющейся матрицы A' и заданная матрица в виде трёх массивов: первый – номера строк; второй – номера столбцов; третий – значение нулевых элементов матрицы. Элементы третьего массива меняются при изменении λ_K .

Алгоритм решения задачи приведён на рис.1. Он позволяет путём многократного решения систем алгебраических уравнений, методом Гаусса при различных значениях λ_K , определить зависимость $P_j = P_j(\lambda_K)$.

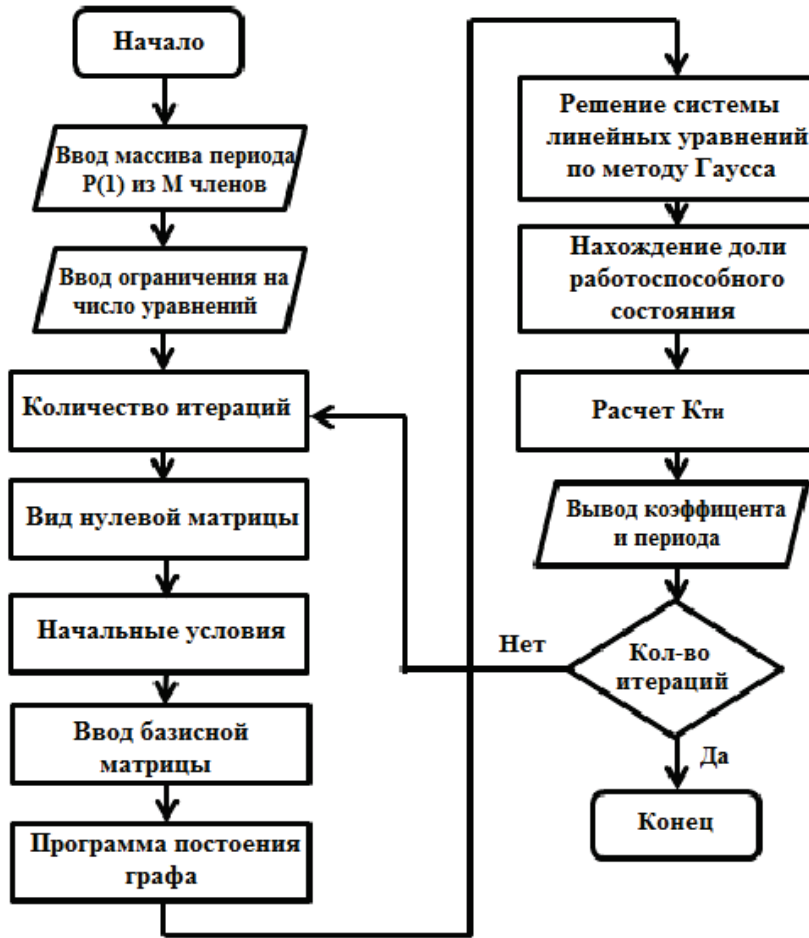
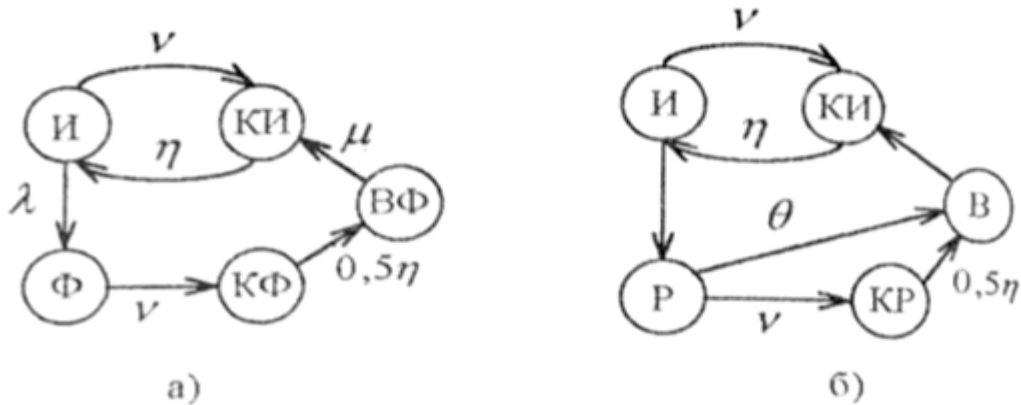


Рис. 1. Алгоритм решения задачи

Проведение лабораторного исследования

На рис. 2 представлены частные модели систем ТО с управлением состоянием. Каждой бригаде даётся индивидуальная ситуационная задача управления состоянием с рядом исходных данных, которые заданы в табл. 1 (для частной модели рис. 2). Задача определяет структуру процесса, и, следовательно, структуру модели, которая является частью базовой модели рис. 1.



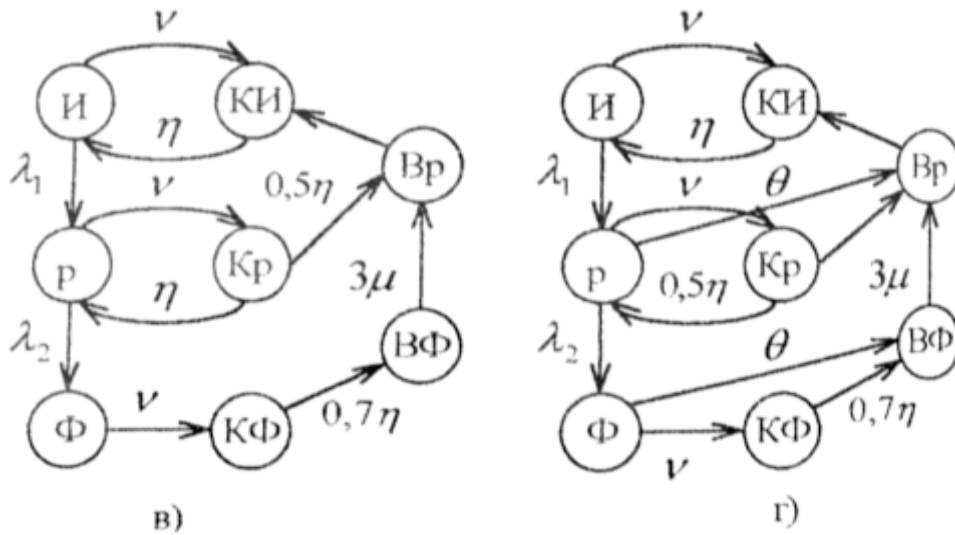


Рис. 2. Частные модели систем ТО с управлением состоянием

Используя краткую теоретическую часть лабораторных работ № 1 и № 2, составляется заданная математическая модель. При составлении программы можно использовать матрицу базовой модели, ограничив в ней количество уравнений и введя новые данные, которые позволяют модель свести к исследуемой. После того, как изменения внесены, базовая модель превращается в исходную и исследуется ситуационная задача.

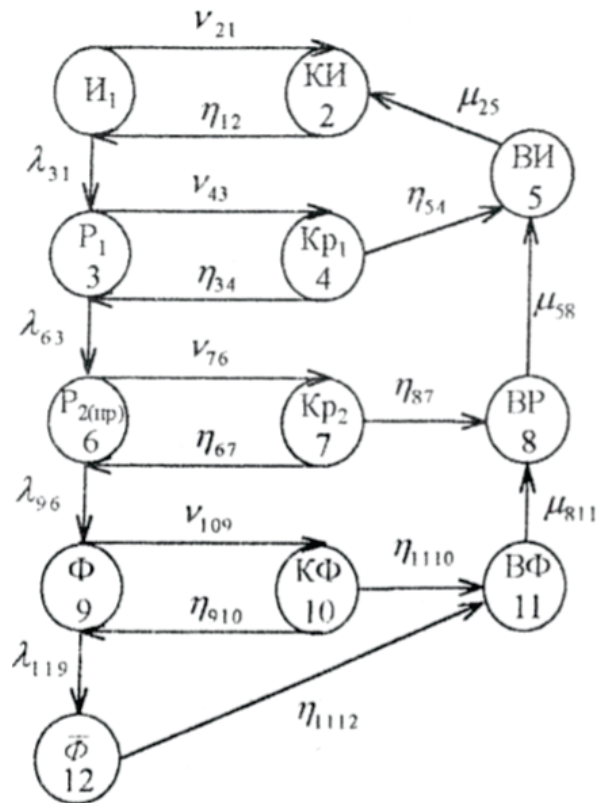


Рис. 3. Базовая модель изменения состояния СЗИ в процессе ТО

Начальные условия и (оптимизируемые) переменные берутся из таблицы № 1.

По полученным из распечаток данным строятся графики, и производится сопоставительный анализ.

Таблица 1

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8
вар-т парам-ы	а	б	в	г	б	в	г	а
$T_k = 1/\nu$	массив (opt)	массив (opt)	массив (80 ч)	массив (100 ч)	массив (opt)	массив (90 ч)	массив (opt)	массив (40 ч)
$T_0 = 1/\lambda$	300 800 1200	100 500 1000	2000 1500 1000	600 1200 1000	50 200 2000	2000 1000 500	массив (1000)	800 500 100
$T_g = 1/\mu$	массив (5 ч)	8 ч 2 ч	0,5 ч 4 ч	2 ч 10 ч	массив (10 ч)	3 ч 2 ч	5 ч 1 ч	5 ч 1 ч
$T_k = 1/\mu$	2,8 ч	массив (3,3 ч)	1,5 ч	2,5 ч	0,5 ч	0,3 ч	3 ч	1 ч
$T_{TO} = 1/Q$	-	-	массив (opt)	массив (opt)	-	массив (opt)	-	массив (opt)

Содержание отчёта

1. Частная модель согласно заданию.
2. Система уравнений Колмогорова-Чепмена.
3. Алгоритм решения задачи.
4. Программа вычислений.
5. Распечатка с результатами счёта на ПЭВМ.
6. Построенные графики и зависимости.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение марковскому случайному процессу.
2. Изобразите граф состояний СЗИ и постройте для него систему уравнений Колмогорова-Чепмена.
3. Каково правило построения системы уравнений Колмогорова-Чепмена?
4. Что представляет собой алгоритм оценки показателей надёжности СЗИ при использовании теории случайных марковских процессов?
5. Приведите пример построения матрицы коэффициентов для оценки вероятностей возможных состояний СЗИ.
6. Марковская модель ТО СЗИ по наработке.

7. Марковская модель ТО СЗИ по состоянию с контролем надёжности.
8. Марковская модель ТО СЗИ по состоянию с контролем параметров.
9. Стратегии ТО СЗИ по наработке. Расчётная зависимость.
10. Стратегии ТО СЗИ по состоянию. Расчётная зависимость.
11. Комплексные показатели надёжности.
12. Принцип построения программы вычислений.

Литература

1. Емельянов В. Е., Логвин А. И., Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: МОРКНИГА, 2014.
2. Очков В. Ф., Mathcad 7 Pro для студентов и инженеров. М.: Компьютер Пресс 1998.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Изучение полумарковской модели процесса технической эксплуатации СЗИ

Цель работы – изучение полумарковской модели эксплуатации СЗИ и оптимизации его параметров.

Домашнее задание

1. Изучение теоретического материала.
2. Разработка программы вычислений.

Основные теоретические сведения

Рассмотрим систему S^* , которая может находиться в одном и только одном состоянии из множества возможных состояний E , и эволюция, которой осуществляется следующим образом:

- в начальный момент времени $t=0$ система находится в одном из состояний множества E , например, в состоянии $i \in E$, в течение некоторого случайного времени θ_0 , после чего система переходит (мгновенно) в состояние $j \in E$. При этом время θ_0 , проведённое системой в состоянии i до попадания в состояние j , есть случайная величина $G_{ij}(x)$;

- переход системы из состояния i в состояние j происходит с вероятностью $P_{ij} > 0$ (причём $\sum_{j \in E} P_{ij} \leq 1$ для любого $i \in E$);

- если из состояния j происходит переход в состояние k , то в состоянии j система пребывает случайное время θ_1 , имеющее произвольное распределение $G_{jk}(x)$ и т.д.

Математической моделью такой системы является полумарковский случайный процесс (ПМП), который так же, как и марковский процесс, является скачкообразным случайным процессом. Отказ от требований показательности распределения времени пребывания в каждом из состояний и есть главное, что отличает полумарковский процесс от марковского процесса. При этом, естественно, теряется свойство марковскости траекторий, а вместе с этим простота теории, присущей теории марковских процессов.

Работоспособный и готовый к применению объект ТО эксплуатируют в течение неслучайного интервала времени $\tau_{МП}$, после которого он подвергается

ся периодическим проверкам (ПП), продолжающимся неслучайное время $\tau_{ПП}$. В ходе ПП в случайные моменты времени, распределённые экспоненциально, могут возникать отказы и ложные отказы, но при этом изделие СЗИ поступает на восстановление и после восстановления, которое длится случайное время, распределённое по закону Эрланга, переходит в работоспособное состояние и находится в готовности к применению. В случайные моменты времени, распределённые экспоненциально, могут возникать скрытые отказы, при которых изделие СЗИ неработоспособно, оно считается готовым к применению до очередных ПП. При проверках, проводимых из состояния скрытого отказа, отказ вскрывается достоверно и изделие СЗИ направляют на восстановление, а затем в работоспособном состоянии оно готово к применению.

Определим состояния $i = 1, 2, 3, 4, 5$ объект ТО (рис. 1):

- S_1 – работоспособное изделие РЭО в готовности к применению;
- S_2 – периодические проверки работоспособного изделия СЗИ, в ходе которых возникают отказы и ложные отказы;
- S_3 – восстановление после возникновения отказов и ложных отказов в ходе ПП; восстановление после обнаружения скрытого отказа при ПП;
- S_4 – изделие РЭО неработоспособно, но считается готовым к применению (скрытый отказ);
- S_5 – периодические проверки изделия РЭО, находящегося в состоянии скрытого отказа.

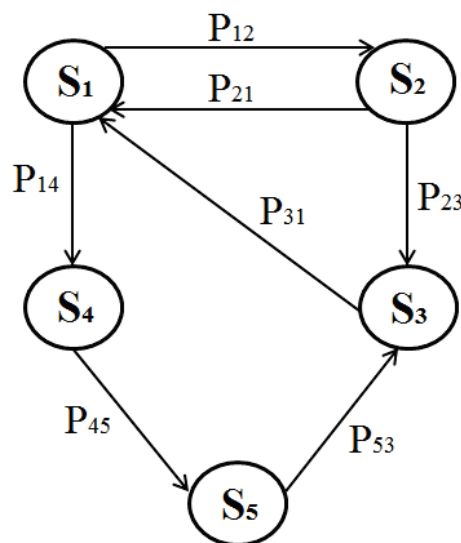


Рис. 1. Полумарковская модель процесса ТО и Р

В соответствие со словесным описанием процесса, получим матрицу $Q(X) = \{Q_{ij}(x, t)\}$, которая должна включать семь ненулевых составляющих. Поскольку ПП следуют через неслучайное время $\tau_{МПП}$, имеем:

$$Q_{12}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq \tau_{МПП}; \\ 1, & \text{при } t \geq \tau_{МПП}. \end{cases} \quad (1)$$

Переход 1-4 осуществляется в случайное время t , распределённое по экспоненциальному закону с параметром потока скрытых отказов ω_4 до момента $\tau_{МПП}$, т.е.

$$Q_{14}(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\omega_4 t}, & \text{при } t \leq \tau_{МПП}; \\ 0, & \text{при } t \geq \tau_{МПП}. \end{cases} \quad (2)$$

Переход из состояния S_2 работоспособного изделия СЗИ в состояние дежурства при отсутствии отказов в ходе ПП происходит через неслучайное время $\tau_{ПП}$ продолжительности проверок, поэтому

$$Q_{21}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq \tau_{МПП}; \\ 1, & \text{при } t \geq \tau_{МПП}. \end{cases} \quad (3)$$

Переход из состояния S_2 в состояние S_3 из-за возникших в случайный момент времени больших ПП отказов или ложных отказов характеризуется вероятностью

$$Q_{23}(t) = 1 - e^{-(\omega_2 + \omega_3)t}, \quad (4)$$

где ω_2 – параметр потока отказов при ПП; ω_3 – параметр потока ложных отказов при ПП.

Окончание восстановления и переход из состояния S_3 в работоспособное состояние S_1 зависит от случайной продолжительности работ по восстановлению, имеющей гамма-распределение при $k=2$, т.е. распределение Эрланга, для которого

$$Q_{31}(t) = 1 - (1 + \omega_1 t) e^{-\omega_1 t}, \quad (5)$$

где ω_1 – параметр распределения Эрланга.

Заканчиваются проверки изделия СЗИ, находящегося в состоянии скрытого отказа, через случайное время $\tau_{ПП}$ продолжительности проверок, поэтому

$$Q_{53}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq \tau_{МПП}; \\ 1, & \text{при } t \geq \tau_{МПП}. \end{cases} \quad (6)$$

В соответствие с [2], найдём вероятности перехода

$$P_{12} = \int_0^{\infty} [1 - Q_{14}(t)] dQ_{12}(t) = \int_0^{\infty} e^{-\omega_4 t} dQ_{12}(t). \quad (7)$$

Для вырожденных функций распределения, какими являются Q_{12} , Q_{21} , Q_{53} , описывающие регулярный скачок, вся вероятность сосредоточена в моменте скачка ($t = \tau_{МПП}, \tau_{ПП}$), поэтому $dQ_{12}(\tau_{ПП}) = 1$ и

$$P_{12} = e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}. \quad (8)$$

Для вычисления вероятности P_{14} используем очевидное соотношение $P_{12} + P_{14} = 1$, откуда

$$P_{14} = 1 - P_{12} = 1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}. \quad (9)$$

Аналогично можно получить

$$P_{14} = \int_0^{\infty} [1 - Q_{12}(t)] dQ_{14}(t) = \int_0^{\tau_{МПП}} d[1 - e^{-\omega_4 t}] = 1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}. \quad (10)$$

Заметим, что для $t \geq \tau_{МПП}$ имеем $1 - Q_{12}(t) = 0$, поэтому предел интегрирования был изменён.

Учитывая, что $dQ_{21}(\tau_{ПП}) = 1$ для состояния 2, получим

$$\begin{aligned} P_{21} &= \int_0^{\infty} [1 - Q_{23}(t)] dQ_{21}(t) = \int_0^{\infty} e^{-(\omega_2 + \omega_3)t} dQ_{21}(t) = \\ &= e^{-(\omega_2 + \omega_3)\tau_{ПП}} \cdot P_{23} = 1 - P_{21} = 1 - e^{-(\omega_2 + \omega_3)\tau_{ПП}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Переходные вероятности

$$P_{31} = P_{45} = P_{53} = 1, \quad (12)$$

т.к. переходы 3-1, 4-5, 5-3 – единственно возможные.

Сложнее найти величину $Q_{45}(t)$, определяющую переход из состояния S_4 скрытого отказа в состояние S_5 проверок, т.к. скрытый отказ возникает с некоторой вероятностью в случайный момент времени, а заканчивается всегда в неслучайный момент начала проверок. Найдём условную функцию распределения $F_{14}(t)$ времени пребывания в работоспособном состоянии до перехода в состояние скрытого отказа и по ней вычислим условное m_{14} , а затем безусловное математическое ожидание:

$$m_4 = \tau_{МПП} - m_{14}. \quad (13)$$

Имеем

$$F_{14}(t) = P_{14}(t)P_{14} = P_{14}(t)/(1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}). \quad (14)$$

Используя (1), (2), вычислим вероятность

$$P_{14}(t) = \int_0^t [1 - Q_{12}(\tau)] dQ_{14}(\tau) = \begin{cases} 1 - e^{-\omega_4 t}, & \text{при } t < \tau_{МПП}; \\ 0, & \text{при } t \geq \tau_{МПП}. \end{cases} \quad (15)$$

Подставляя (15) в (14), получим

$$F_{14}(t) = \frac{1 - e^{-\omega_4 t}}{1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}}. \quad (16)$$

Заметим, что функция $F_{14}(t)$ определена только на интервале $(0, \tau_{МПП})$, поэтому при вычислении условного математического ожидания m_{14} интеграл берётся не от 0 до ∞ , а от 0 до $\tau_{МПП}$:

$$m_{14}(t) = \int_0^{\tau_{МПП}} [1 - F_{14}(t)] dt = \int_0^{\tau_{МПП}} \left[\frac{1 - e^{-\omega_4 t}}{1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}} \right] dt = \frac{1}{\omega_4} - \frac{\tau_{МПП} e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}}{1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}}. \quad (17)$$

С учётом (13) и (17), безусловное математическое ожидание времени пребывания в состоянии S_4 скрытого отказа

$$m_{14}(t) = \tau_{МПП} - \left(\frac{1}{\omega_4} - \frac{\tau_{МПП} e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}}{1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}} \right) = \frac{\tau_{МПП}}{1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}} - \frac{1}{\omega_4}. \quad (18)$$

Для расчёта безусловных математических ожиданий m_1, m_2, m_3 и m_5 по зависимости [2] найдём в соответствие с (1) и (2) безусловную функцию распределения:

$$F_1(t) = 1 - [1 - Q_{12}(\tau)] \cdot [1 - Q_{14}(\tau)] = \begin{cases} 1 - e^{-\omega_4 t}, & \text{при } t < \tau_{МПП}; \\ 1, & \text{при } t \geq \tau_{МПП}, \end{cases} \quad (19)$$

на основании (3) и (4)

$$F_2(t) = 1 - [1 - Q_{21}(\tau)] \cdot [1 - Q_{23}(\tau)] = \begin{cases} 1 - e^{-(\omega_2 - \omega_3)t}, & \text{при } t < \tau_{МПП}; \\ 1, & \text{при } t \geq \tau_{МПП}, \end{cases} \quad (20)$$

по выражению (5)

$$F_3(t) = 1 - [1 - Q_{31}(\tau)] = 1 - (1 + \omega_1 t) e^{-\omega_1 t}, \quad (21)$$

в соответствие с (6)

$$F_5(t) = 1 - [1 - Q_{53}(\tau)] = \begin{cases} 0, & \text{при } t < \tau_{МПП}; \\ 1, & \text{при } t \geq \tau_{МПП}. \end{cases} \quad (22)$$

С учётом (19)-(22) имеем:

$$m_1 = \int_0^{\tau_{МПП}} e^{-\omega_4 t} dt + \int_{\tau_{МПП}}^{\infty} 0 dt = \frac{1}{\omega_4} (1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}); \quad (23)$$

$$m_2 = \int_0^{\tau_{МПП}} e^{-(\omega_2 + \omega_3)t} dt + \int_{\tau_{МПП}}^{\infty} 0 dt = \frac{1}{\omega_2 + \omega_3} (1 - e^{-(\omega_2 + \omega_3)\tau_{МПП}}); \quad (24)$$

$$m_3 = \int_0^{\infty} (1 + \omega_1 t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\omega_1 t} + \omega_1 \int_0^{\infty} t e^{-\omega_1 t} dt = \quad (25)$$

$$= \frac{1}{\omega_1} e^{-\omega_1 t} \Big|_0^{\infty} + \omega_1 \left[\frac{e^{-\omega_1 t}}{\omega_1^2} (-\omega_1 t - 1) \right] \Big|_0^{\infty} = \frac{2}{\omega_1};$$

$$m_5 = \int_0^{\tau_{МПП}} 1 dt + \int_{\tau_{МПП}}^{\infty} 0 dt = \tau_{МПП}. \quad (26)$$

Полученные функции $Q_{ij}(t)$, P_{ij} , $F_i(t)$, m_i сведём в табл. 1.

В соответствие с [3], составим уравнения для стационарных вероятностей состояний:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= P_{21}\pi_2 + P_{31}\pi_3; \\ \pi_2 &= P_{12}\pi_1; \\ \pi_3 &= P_{23}\pi_2 + P_{53}\pi_5; \\ \pi_4 &= P_{14}\pi_1; \\ \pi_5 &= P_{45}\pi_4. \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

Таблица 1

Переходы. ij	Характеристики переходов			
	$Q_{ij}(t)$	P_{ij}	$P_i(t)$	m_i
12	$\begin{cases} 0, \text{ при } t < \tau_{МПП} \\ 1, \text{ при } t \geq \tau_{МПП} \end{cases}$	$e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}$	$\begin{cases} 1 - e^{-\omega_4 t}, \text{ при } t < \tau_{МПП}; \\ 1, \text{ при } t \geq \tau_{МПП}, \end{cases}$	$\frac{1}{\omega_4} (1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}})$
14	$\begin{cases} 1 - e, \text{ при } t < \tau_{МПП} \\ 0, \text{ при } t \geq \tau_{МПП} \end{cases}$	$1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}$		
21	$\begin{cases} 0, \text{ при } t < \tau_{МПП} \\ 1, \text{ при } t \geq \tau_{МПП} \end{cases}$	$e^{-(\omega_2 + \omega_3)\tau_{МПП}}$	$\begin{cases} 1 - e^{-(\omega_2 + \omega_3)t}, \text{ при } t < \tau_{МПП}; \\ 1, \text{ при } t \geq \tau_{МПП}, \end{cases}$	$\frac{1}{\omega_2 + \omega_3} [1 - e^{-(\omega_2 + \omega_3)\tau_{МПП}}]$
23	$1 - e^{-(\omega_2 + \omega_3)t}$	$1 - e^{-(\omega_2 + \omega_3)\tau_{МПП}}$		
31	$1 - (1 + \omega_1 t)e^{-\omega_1 t}$	1	$1 - (1 + \omega_1 t)e^{-\omega_1 t}$	$\frac{2}{\omega_1}$

1	2	3	4	5
45	–	1	–	$\frac{\tau_{МПП}}{1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}} - \frac{1}{\omega_4}$
53	$\begin{cases} 0, \text{ при } t < \tau_{МПП} \\ 1, \text{ при } t \geq \tau_{МПП} \end{cases}$	1	$\begin{cases} 0, \text{ при } t < \tau_{МПП} \\ 1, \text{ при } t \geq \tau_{МПП} \end{cases}$	$\tau_{МПП}$

С учётом (12) система (27) упрощается:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= P_{21}\pi_2 + P_{31}\pi_3; \\ \pi_2 &= P_{12}\pi_1; \\ \pi_3 &= P_{23}\pi_2 + \pi_5; \\ \pi_4 &= P_{14}\pi_1; \\ \pi_5 &= \pi_4. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

Далее для решения исключим третье уравнение, заменив его нормирующимся условием (12), и с учётом пятого уравнения получим систему четырёх уравнений с четырьмя неизвестными:

$$\left. \begin{aligned} \pi_1 &= P_{21}\pi_2 + \pi_3; \\ \pi_2 &= P_{12}\pi_1; \\ \pi_4 &= P_{14}\pi_1; \\ \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + 2\pi_4 &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Система (29) решается методом подстановки. Получим:

$$\pi_3 = \pi_1 - P_{21}\pi_2 = \pi_1 - P_{21}P_{12}\pi_1 = \pi_1(1 - P_{21}P_{12}). \quad (30)$$

Подставляя (29), имеем

$$\pi_1 + P_{12}\pi_1 + \pi_1(1 - P_{21}P_{12}) + 2P_{14}\pi_1 = 1. \quad (31)$$

Откуда после преобразования найдём

$$\pi_1 = 1 / [2(1 + P_{14}) + P_{12}(1 - P_{21})]. \quad (32)$$

В соответствие с (29) и (32)

$$\pi_3 = 1 - P_{21}P_{12} / [2(1 + P_{14}) + P_{12}(1 - P_{21})]. \quad (33)$$

На основании (30) и (32)

$$\pi_3 = 1 - P_{21}P_{12} / [2(1 + P_{14}) + P_{12}(1 - P_{21})]. \quad (34)$$

Подставляя (32) в (29), найдём

$$\pi_4 = \pi_5 = P_{14} / [2(1 + P_{14}) + P_{12}(1 - P_{21})]. \quad (35)$$

Заметим, что все стационарные вероятности (31)-(35) отличаются только числителями соответствующих выражений.

В соответствие с зависимостями (29) и (30), найдём математическое ожидание времени одного перехода:

$$m = \sum_{i=1}^5 \pi_i m_i = m_1 \pi_1 + P_{12} \pi_1 m_2 + \pi_1 (1 - P_{21} P_{12}) m_3 + P_{14} \pi_1 m_3 + P_{14} \pi_1 m_4 + P_{14} \pi_1 m_5 = \pi_1 [m_1 + P_{12} m_2 + (1 - P_{21} P_{12}) m_3 + P_{14} (m_4 + m_5)]. \quad (36)$$

Введём обозначение

$$A = m_1 + P_{12} m_2 + (1 - P_{21} P_{12}) m_3 + P_{14} (m_4 + m_5), \quad (37)$$

при котором (36) принимает вид

$$m = \pi_1 A. \quad (38)$$

Далее можно с учётом (29), (30), (32)-(37) и (38) определить вероятности исследуемого ПМП:

$$P_1 = m_1 / A; \quad (39)$$

$$P_2 = \pi_2 m_1 / (\pi_1 A) = P_{12} m_2 / A; \quad (40)$$

$$P_3 = \pi_3 m_3 / (\pi_1 A) = (1 - P_{21} P_{12}) m_3 / A; \quad (41)$$

$$P_4 = \pi_4 m_4 / (\pi_1 A) = P_{14} m_4 / A; \quad (42)$$

$$P_5 = \pi_5 m_5 / (\pi_1 A) = P_{14} m_5 / A. \quad (43)$$

Выразим функцию A через исследуемые параметры РЭС:

$$A = \frac{1}{\omega_4} (1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}) + e^{-\omega_4 \tau_{МПП}} [1 - e^{-(\omega_2 - \omega_3) \tau_{ПП}}] \times \times \frac{1}{\omega_2 + \omega_3} + [1 - e^{-(\omega_2 - \omega_3) \tau_{ПП}} e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}] \frac{2}{\omega_1} + + (1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}) \cdot \left(\frac{\tau_{МПП}}{1 - e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}} - \frac{1}{\omega_4} + \tau_{ПП} \right). \quad (44)$$

Введём следующие обозначения:

$$P_{МПП} = e^{-\omega_4 \tau_{МПП}}, \quad (45)$$

$$P_{ПП} = e^{-(\omega_2 + \omega_3) \tau_{ПП}}, \quad (46)$$

$$\bar{\tau}_B = \frac{2}{\omega_1}, \quad (47)$$

с учётом которых (44) принимает вид

$$A = \frac{1}{\omega_4}(1 - P_{MIII}) + \frac{P_{MIII}}{\omega_2 + \omega_3}(1 - P_{III}) + (1 - P_{MIII}P_{III})\bar{\tau}_B + (1 - P_{MIII}) \cdot \left(\frac{\tau_{MIII}}{1 - P_{MIII}} - \frac{1}{\omega_4} + \tau_{III} \right). \quad (48)$$

После элементарных преобразований

$$A = \tau_{MIII} + \tau_{III} + \bar{\tau}_B - P_{MIII} \left[\bar{\tau}_B P_{III} + \tau_{III} - (1 - P_{III}) / (\omega_2 + \omega_3) \right]. \quad (49)$$

В соответствие с (39)-(43), 48(49) выразим вероятности ПМП через анализируемые параметры:

$$P_1 = \frac{1/\omega_4 \cdot (1 - P_{MIII})}{\tau_{MIII} + \tau_{III} + \bar{\tau}_B - P_{MIII} \left[\bar{\tau}_B P_{III} + \tau_{III} - (1 - P_{III}) / (\omega_2 + \omega_3) \right]}; \quad (50)$$

$$P_2 = \frac{P_{MIII} (1 - P_{III}) / (\omega_2 + \omega_3)}{\tau_{MIII} + \tau_{III} + \bar{\tau}_B - P_{MIII} \left[\bar{\tau}_B P_{III} + \tau_{III} - (1 - P_{III}) / (\omega_2 + \omega_3) \right]}; \quad (51)$$

$$P_3 = \frac{(1 - P_{III} P_{MIII}) \bar{\tau}_B}{\tau_{MIII} + \tau_{III} + \bar{\tau}_B - P_{MIII} \left[\bar{\tau}_B P_{III} + \tau_{III} - (1 - P_{III}) / (\omega_2 + \omega_3) \right]}; \quad (52)$$

$$P_4 = \frac{\tau_{MIII} - (1 - P_{MIII}) / \omega_4}{\tau_{MIII} + \tau_{III} + \bar{\tau}_B - P_{MIII} \left[\bar{\tau}_B P_{III} + \tau_{III} - (1 - P_{III}) / (\omega_2 + \omega_3) \right]}; \quad (53)$$

$$P_5 = \frac{(1 - P_{MIII}) \tau_{III}}{\tau_{MIII} + \tau_{III} + \bar{\tau}_B - P_{MIII} \left[\bar{\tau}_B P_{III} + \tau_{III} - (1 - P_{III}) / (\omega_2 + \omega_3) \right]}. \quad (54)$$

Выражения для вероятностей пребывания в пяти состояниях ПМП отличаются только числителем.

Структура алгоритма решения задачи представлена на рис. 2.

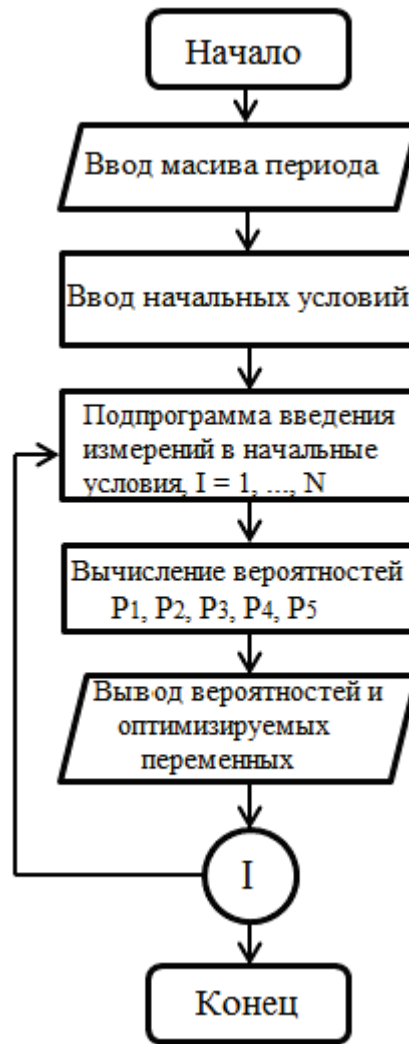


Рис. 2. Алгоритм разрабатываемой программы

Проведение лабораторного исследования

Студенту необходимо решить задачу оптимизации эксплуатационных параметров процесса ТЭ, проанализировать характер изменения вероятностей P_i и коэффициента технического обслуживания ($K_{ТИ}$) от оптимизируемых параметров.

Вероятность P_1 пребывания изделия СЗИ в работоспособном состоянии в готовности к применению представляет собой коэффициенты $K_{ТИ}$, учитывающие процесс проведения ПП.

Важная характеристика системы ТО – вероятность P_3 пребывания в состоянии S_3 восстановления изделия СЗИ. Чем выше вероятность P_3 , тем меньше $K_{ТИ}$, однако величина P_3 определяет не столько готовность СЗИ к примене-

нию, сколько загруженность персонала, ведущего эксплуатацию, ремонтно-восстановительными работами.

Вероятность P_4 пребывания в состоянии S_4 скрытого отказа линейно связано с величиной K_{TH} .

Вероятность P_2 и P_5 существенно зависят от периодичности (величины τ_{MIII}) и продолжительности ПП (величины τ_{III}), потоков отказов в ходе проверок (параметров ω_2 и ω_3).

Используя зависимости (45)-(47) и (50)-(54), необходимо составить программу для ЭВМ, позволяющую найти величину вероятностей P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 от оптимизируемых параметров.

Оптимизируемыми параметрами являются:

- τ_{MIII} – периодичность ПП;
- τ_{III} – продолжительность ПП;
- ω_1 – интенсивность восстановления РЭС;
- ω_2 – параметр потока отказов при ПП;
- ω_3 – параметр потока ложных отказов при ПП;
- ω_4 – интенсивность перехода в состояния скрытого отказа.

Начальные условия, позволяющие поставить задачу оптимизации параметров, приведены в таблице 2 (соответственно для каждой бригады).

Подробнее всего необходимо проанализировать зависимость вероятности P_1 от оптимизируемых параметров. На величину $P_1 = K_{TH}$ наибольшее влияние оказывают параметры τ_{MIII} и ω_4 .

Согласно варианту, каждый студент должен построить восемь зависимостей для каждой стационарной вероятности изучаемой модели.

Массив временных данных (в часах) берётся в логарифмическом масштабе и состоит из четырёх декад, т.е. имеет вид

1, 2, ..., 10, 11, ..., 100, 200, ..., 1000, 2000, 3000.

Требования к отчету

По результатам лабораторной работы каждый студент должен составить

индивидуальный отчёт, содержащий зависимость стационарных вероятностей P_i от оптимизируемых параметров.

Содержание отчёта

1. Полумарковская модель процесса ТО.
2. Краткое описание метода построения полумарковской модели.
3. Расчёт зависимости стационарных вероятностей ПМП от оптимизируемых параметров.
4. Алгоритм решения задачи.
5. Разработанная программа.
6. Распечатка с результатами счёта на ПЭВМ.
7. Построенные зависимости.
8. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Пути повышения адекватности марковской модели процесса ТО и Р реальному процессу.
2. Отличие полумарковских случайных процессов от марковских.
3. Определение полумарковских случайных процессов и его составляющие.
4. Составление матрицы $Q = \{Q_{ij}(t)\}$ независимых функций распределения времени пребывания системы в i -м состоянии перед переходом в j -е состояние.
5. Пути нахождения вероятности P_{ij} перехода из состояния i в состояние j для ПМП.
6. Безусловная функция распределения $F_i(t)$ времени пребывания системы в состоянии i и её применение при моделировании процесса ТО и Р.
7. Нахождение среднего времени пребывания СЗИ в состоянии S_i .
8. Определение стационарных вероятностей P_i , i -го состояния ПМП.
9. Принципы построения полумарковской модели процесса ТО и Р СЗИ.
10. Характеристика функций $Q_{ij}(t)$, P_{ij} , $F_i(t)$, приведённых в таблице 1.
11. Составление системы линейных алгебраических уравнений для определения стационарных вероятностей состояний модели процесса ТО и Р СЗИ.

12. Характеристика стационарных вероятностей P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 изучаемой полумарковской модели процесса ТО и Р СЗИ.
13. Принцип составления разработанной программы в лабораторной работе.
14. Характеристика полученных в работе зависимостей и пути оптимизации параметров процесса ТО и Р.

Литература

1. Емельянов В. Е., Логвин А. И., Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: МОРКНИГА, 2014.
2. Очков В. Ф., Mathcad 7 Pro для студентов и инженеров. М.: Компьютер Пресс 1998.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Определение оптимального момента замены функциональных узлов средств защиты информации при использовании стратегии ТОС

Цель работы – изучение методов нахождения оптимального времени проведения предупредительных замен элементов СЗИ.

Домашнее задание

1. Изучение теоретического материала.
2. Вычисление исходного уравнения Трулава для заданного варианта.
3. Разработка алгоритма и программы вычислительных процедур.

Основные теоретические сведения

Техническое обслуживание (ТО) – операция (комплекс операций) по поддержанию работоспособности изделия при его использовании по назначению, транспортировке, хранению, а также в режиме ожидания. Конечная цель ТО – предотвращение отказов авиационного СЗИ. Необходимость проведения работ по предотвращению отказов определяется в процессе ТО.

В связи с этим, в любой структуре ТО должна быть выбрана система правил управления техническим состоянием изделия. Такая система правил составляет метод (стратегию) ТО. В системе технического обслуживания авиационного РЭО широко используется метод ТО по состоянию.

Применение этой стратегии целесообразно для элементов, не имеющих ярко выраженного в процессе эксплуатации, однако интенсивность их отказов возрастает с течением времени.

В конструкции многих типов СЗИ имеется небольшое число элементов с повышенной интенсивностью отказов. Хотя число таких элементов невелико по сравнению с числом массовых элементов РЭО (резисторы, конденсаторы, микросхемы, и т.д.), большая интенсивность отказов этих элементов приводит к ухудшению показателей надёжности. Отказы таких элементов чаще всего происходят внезапно. Внезапные отказы приводят к увеличению времени ремонта, что ухудшает такие показатели, как коэффициенты готовности и технического использования эксплуатируемой техники. В современных условиях наиболее приемлемым способом предотвратить отказы этих элементов является их своевременная замена. Правило замены элементов должно быть таким, чтобы обеспечить наименьшие в среднем потери при эксплуатации и повысить надёжность СЗИ в целом. Однако успешное решение этой задачи воз-

можно, если будет найдено аналитическое выражение, позволяющее отыскивать оптимальные значения показателей работы СЗИ в зависимости от показателей системы ТО и показателей надёжности работы элементов.

Для определения оптимального момента замены найдём такой период замен, который обеспечивает максимум вероятности нахождения системы в рабочем состоянии в произвольно выбранный момент времени t и максимум вероятности безотказной работы системы от момента t до момента $t+x$. Пусть вероятность застать элемент исправным в произвольный момент времени t и вероятность его безотказной работы в промежуток времени от t до $t+x$ есть $p(x, t)$. Пусть далее T_1 – среднее время плановой замены элемента, а T_2 – среднее время неплановой (аварийной) замены отказавшего элемента. Для простоты считаем, что период, через который проводят замены элемента, является случайной величиной Y , имеющей функцию распределения:

$$G(t) = P\{Y < t\}.$$

Тогда вмешательства в работу системы при наблюдении за элементом осуществляется через $\min(X, Y)$ ед. времени.

Если время между очередными моментами возвращения элемента в исходное состояние обозначить через Z , то случайная величина Z может принимать следующие значения:

$$Z = \begin{cases} Y + T_1, & X > Y, \\ Y + T_2, & X < Y. \end{cases}$$

Величины $\{Z_k\}$ образуют процесс восстановления с $\mu = M[Z]$ и функцией восстановления $H(t) = M[N_t]$.

Вероятность завершения восстановления на бесконечно малом отказе времени Δt равна $H(t + \Delta t) - H(t) + o(\Delta t)$, поэтому $dH(t)$ – вероятность того, что возвращение системы в исходное состояние (восстановление системы) произойдёт в момент t .

Математическое выражение для вероятности $p(x, t)$ имеет вид

$$p(x, t) = [1 - G(t)] \cdot [1 - F(t + x)] + \int_0^t [1 - G(t - \xi)] [1 - F(t + x - \xi)] dH(\xi). \quad (1)$$

Нас интересует $\lim_{t \rightarrow \infty} p(x, t)$ – стационарное значение вероятности $p(x, t)$.

Для получения $p(x, t)$ воспользуемся узловой теоремой восстановления:

Если $Q(t)$ – неотрицательная, невозрастающая функция, определённая при всех t , и принадлежащая области $L = (0, \infty)$, то

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_0^t Q(t-u) dH(u) = \frac{1}{\mu} \int_0^{\infty} Q(u) du,$$

где математическое ожидание времени между заменами элемента по причине отказа, либо после выбранного ресурса:

$$\mu = M[Y + T_1/X > Y] \text{ или } \mu = M[Y + T_2/X < Y].$$

В нашем случае $Q(t) = [1 - G(t)] \cdot [1 - F(t+x)]$. Следовательно,

$$p(x) = \frac{1}{\mu} \int_0^{\infty} [1 - G(t)] \cdot [1 - F(t+x)] dx. \quad (2)$$

Применяя для нахождения условного математического ожидания μ формулу полной вероятности и учитывая, что $\int_0^{\infty} [1 - G(t)] \cdot [1 - F(t)] dt$ – математическое ожидание время работы элемента без отказов и предупредительных замен, получаем:

$$\mu = \int_0^{\infty} [1 - G(t)] \cdot [1 - F(t)] dt + T_1 \int_0^{\infty} F(t) dG(t) + T_2 \int_0^{\infty} G(t) dF(t). \quad (3)$$

Формула (1) принимает вид с учётом (2)

$$p(x) = \frac{\int_0^{\infty} [1 - G(t)] \cdot [1 - F(t+x)] dt}{\int_0^{\infty} [1 - G(t)] \cdot [1 - F(t+x)] dt + T_1 \int_0^{\infty} F(t) dG(t) + T_2 \int_0^{\infty} G(t) dF(t)}. \quad (4)$$

Выберем функцию распределения времени между моментами окончания предупредительных замен элементов в системе

$$G_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i < \tau_i \\ 1, & \text{при } x_i > \tau_i \end{cases},$$

где τ_i – детерминированное время замен.

Выражение принимает вид:

$$p(x, \tau) = \frac{\int_0^{\tau} [1 - F(t+x)] dt}{\int_0^{\tau} [1 - F(t)] dt + T_2 + (T_1 - T_2) \cdot F(\tau)}, \quad (5)$$

учитывая, что $\int_{\tau}^{\infty} F(x) dG(x) = \int_{\tau}^{\infty} F(x) d1(x) = F(\tau)$.

Дифференцируя (4) по τ , и опуская алгебраические преобразования, получаем формулу Трулава для определения оптимального значения τ :

$$\frac{T_2}{T_1 + x} \cong 1 - \frac{1}{1 - F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} [1 - F(t)] dt}. \quad (6)$$

Проведение лабораторного исследования

В соответствие с разработанным алгоритмом и программой расчёта, студенты обязаны определить оптимальное время предупредительной замены элементов РЭС, используя результаты домашнего задания, выполненные в соответствии с данными, приведёнными в табл. 1.

Таблица 1

Параметры	Бригады					
	1	2	3	4	5	6
Аппроксимирующая функция для $\lambda(t)$, 1/ч	$at + b$	$e^{\nu_0 t}$	$2at - b$	$e^{2\nu_0 t}$	$3at + b$	$e^{(2\nu_0 - \varepsilon)t}$
T_1 , ч	2; 2; 3.	4; 5; 6.	3; 3; 4.	3; 4; 3.	2; 3; 5.	3; 4; 4.
T_2 , ч	0,5; 1,5; 1,5.	1,0; 2,0; 2,0.	1,0; 1,5; 1,0	1,0; 2,0; 0,5	1,0; 1,0 1,0.	1,0; 1,2; 1,1.
a	2,5	-	1,5	-	1,2	-
b	0,5	-	0,3	-	0,3	-
ν_0	-	0,4	-	0,3	-	1,2
ε	-	-	-	-	-	1,8

Содержание отчёта

1. Краткие теоретические сведения.
2. Рассчитанное выражение для формулы (6).

3. Алгоритм и программу расчёта.
4. Распечатку с результатами счёта на ПЭВМ.
5. Иллюстрированный материал.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Приведите выражение для переменной интенсивности отказов элемента СЗИ, исходя из вероятности безотказной работы.
2. Каковы исходные условия выбора времени предупредительной замены «стареющего» элемента?
3. Каков критерий оптимизации времени предупредительной замены элемента?
4. Приведите иллюстрированный материал для нахождения вероятности $p(x,t)$.
5. Каким образом оценивается вероятность исправного состояния «стареющего» элемента в фиксированный промежуток времени с последующим гарантированным интервалом безотказной работы?
6. Выведите выражения для $p(x)$.
7. Сформулируйте критерий, определяющий τ_{opt} .
8. Поясните принципы построения алгоритма и программы вычислений.

Литература

1. Емельянов В. Е., Логвин А. И., Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: МОРКНИГА, 2014.
2. Очков В. Ф., Mathcad 7 Pro для студентов и инженеров. М.: Компьютер Пресс 1998.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

Определение экономически целесообразного времени эксплуатации СЗИ

Цель работы – определение оптимальной продолжительности времени технического использования ЗТКС по критерию минимума эксплуатационных расходов.

Домашнее задание

1. Изучение теоретического материала.
2. Разработка алгоритма вычислений и написание программы.

Основные теоретические сведения

СЗИ считается пригодным к использованию в данных эксплуатационных условиях, если его показатели отвечают определенным требованиям. Всякое изменение в работе СЗИ по любой причине, влекущее за собой несоответствие нормам технических параметров, следует понимать как отказ, поскольку это означает, что система не выполняет возложенные на нее функции. При такой постановке вопроса надежность вступает как гарантия определенного качества – заданного уровня функционального состояния СЗИ, которое должно обеспечиваться не только целостью его элементов, но и стабильностью их параметров, которые, в свою очередь, должны соответствовать нормам технических параметров.

Отметим, что обеспечение функционального состояния СЗИ длительного периода эксплуатации сопровождается соответствующими эксплуатационными расходами, включающими и затраты на восстановление $A(t)$, возникающее за наблюдаемый интервал времени $(0,t)$. Отметим, что приоритетным является выбор экономического времени технической эксплуатации (ТЭ) СЗИ или времени, при котором функция интенсивности экономических затрат минимальна. Напомним, что время ТЭ СЗИ – это время с момента ввода СЗИ в действие до момента снятия его с эксплуатации.

В случае линейного роста функции $A(t)$ ТЭ рентабельна, при росте $A(t)$ быстрее, чем линейно (прогрессивно), с экономической точки зрения СЗИ необходимо отбраковать и исключить из процесса ТЭ.

Основываясь на экономическом подходе необходимо определить оптимальное время ТЭ. При выборе времени ТЭ необходимо учитывать, что при коротком времени ТЭ удастся избежать затрат, связанных со старением СЗИ, но при этом возрастут убытки, связанные с вводом нового СЗИ в ТЭ.

Пусть C – затраты на восстановление (B). При условии, что после каждого B затраты C и функция $A(t)$ одинаковы, то процесс ТЭ разбивается на циклы $(0, \tau), (\tau, 2\tau) \dots ((n-1)\tau, t)$.

Затраты на один цикл составляют:

$$C + A(\tau) \quad (1)$$

При условии, что t велико, интенсивность затрат на ТЭ

$$R(\tau) = C + A(\tau) / \tau \quad (2)$$

Предполагая существование производной $a(t) = dA(t) / dt$, экономическое время ТЭ τ^* определяется из соотношения:

$$R(\tau^*) = \min R(\tau) \text{ при } \tau = (0, \infty), \quad (3)$$

Решением которого являются уравнения:

$$(C + A(\tau)) / \tau = \alpha(\tau) \quad \text{или} \quad (4)$$

$$R(\tau) = \alpha(\tau) \quad (5)$$

Для анализа функции интенсивности затрат на ТЭ в разложим $R(\tau)$ в ряд Тейлора в окрестности τ^* (предполагаем существование $\alpha'(t)$):

$$R(\tau^* + h) = R(\tau^*) + h * R'(\tau^*) + (h^2/2) * R''(\tau^*) \quad (6)$$

Так как $R'(\tau^*) = 0$, а $R''(\tau^*) = \alpha'(\tau^*) / \tau^*$, то можно записать

$$R(\tau^* + h) = R(\tau^*) + (h^2/2) * \alpha'(\tau^*) / \tau^* \quad (7)$$

Методика экономического времени ТЭ обычно применяется тогда, когда имеется большое число систем одинакового типа, а функция $A(t)$ отражает динамику средних затрат на B в рассматриваемой совокупности СЗИ. Однако текущие затраты, даже при B идентичного СЗИ отличаются друг от друга, то есть носят случайный характер. Поэтому применение общего подхода, связанного с экономическим временем ТЭ не является наилучшим.

Проведение лабораторного исследования

В соответствии с номером варианта студент должен определить экономическое время ТЭ, построить функцию интенсивности затрат при различных определяющих параметрах и исследовать ее. Задания приведены в табл. 1.

Таблица 1

Варианты Параметры	1	2	3	4	5	6
a(t)	$a*t$	$\exp(a*t)$	$a*t^2$	$\exp(a*t)*b*t^2$	$a*t+\exp(t-b)$	$a*t+b*t^2$
a	5	2	3	3	6	2
b	-	-	-	2	4	9
c	300	200	150	500	250	350

Содержание отчёта

1. Краткие теоретические сведения.
2. Алгоритм и программу расчёта.
3. Распечатка с результатами счёта на ЭВМ.
4. Иллюстрированный материал.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое время ТЭ?
2. Дать определение экономического времени ТЭ.
3. Запишите выражение для интенсивности затрат.
4. Обоснуйте соотношение для определения экономического времени ТЭ.
5. При каком условии процесс ТЭ можно разбить на циклы?
6. Как графически определить экономичное время ТЭ?
7. Как статистическими методами определить экономичное время ТЭ?
8. Представьте идеализированный график функции интенсивности затрат на ТЭ.
9. Каковы недостатки методики вычисления экономического времени ТЭ?
10. Каковы достоинства методики вычисления экономического времени ТЭ?
11. Является ли экономическое время ТЭ жесткой величиной?
12. Какой вид функция a(t) наиболее часто встречается на практике?

Литература

1. Байхельт Ф. Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. М.: Радио и связь, 1988.
2. Емельянов В. Е., Логвин А. И., Техническая эксплуатация авиационного радиоэлектронного оборудования. М.: МОРКНИГА, 2014.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Контроль эффективности защиты речевой информации по акустическому каналу с помощью программно-аппаратного комплекса (ПАК)

«СПРУТ-МИНИ»

Цель работы – ознакомление студентов с работой программно-аппаратного комплекса «СПРУТ-МИНИ».

Основные теоретические сведения

При контроле эффективности защиты речевой информации по акустическому каналу производятся специальные измерения, их результаты сравниваются с соответствующими нормами. При невыполнении норм осуществляются мероприятия по защите речевой информации.

Краткое описание используемого оборудования

1. Комплекс «СПРУТ-МИНИ».

Комплекс контроля эффективности защиты речевой информации «Спрут-мини» предназначен для проверки выполнения норм эффективности защиты речевой информации от утечки по акустическому, виброакустическому каналам, а также за счет низкочастотных (НЧ) наводок на токопроводящих элементах ограждающих конструкций, электроакустических преобразований в линиях технических средств передачи информации (ТСПИ) и за счет побочных электромагнитных излучений от технических средств в речевом диапазоне.

Комплекс обеспечивает измерение акустического давления, виброускорения, а также уровней сигналов НЧ наводок на токопроводящих элементах ограждающих конструкций, электроакустических преобразований в линиях ТСПИ и побочных электромагнитных излучений от технических средств в речевом диапазоне.

Основные технические характеристики комплекса:

- диапазон измерений от 20 до 20000 Гц.
- диапазон измеряемых уровней звукового давления – 10-105 дБ;
- диапазон измеряемых уровней виброускорений – $5 \cdot 10^{-5} - 1 \text{ м/с}^2$;
- диапазон измеряемых уровней напряженности электрического поля - $10 - 10^5 \text{ мкВ/м}$;

- диапазон измеряемых уровней напряженности магнитного поля – $0,2 - 10^4$ мкА/м;

- диапазон измеряемых уровней напряжений наведенного электрического сигнала $-5 \cdot 10^{-2} - 10^3$ мкВ.

Диапазон уровней звукового давления тестового сигнала на расстоянии 1 м от источника (блок формирования тестовых акустических сигналов с акустической системой) – не менее 65-90 дБ.

В состав комплекса входят:

- управляющая ПЭВМ;
- программное обеспечение управления аппаратурой акустического контроля и обработки НЧ сигналов;
- многоканальный сигнальный концентратор «Спрут-МЗ»;
- блок формирования тестовых акустических сигналов «Спрут-ГЗ» с акустической системой;
- измерительный микрофон с принадлежностями;
- вибродатчик (акселерометр) с принадлежностями;
- антенна измерительная рамочная;
- антенна измерительная дипольная.

1.1. Сигнальный концентратор «СПРУТ-МЗ».

Сигнальный концентратор предназначен для преобразования маломощных электрических сигналов от различных датчиков (микрофонов, вибродатчиков, электрических и магнитных антенн и т.п.) в цифровую форму для их запоминания и цифровой обработки с использованием ПЭВМ.

Сигнальный концентратор «СПРУТ-МЗ» представляет собой функционально-законченное устройство с собственными органами управления, индикации и устройством электропитания. Он может использоваться как автономно с запоминанием результатов проведенных измерений, так и в «централизованном» режиме (под управлением ПЭВМ).

Канал 1 предназначен для работы с микрофонами с «фантомным» питанием, соответственно в составе третьего канала имеется устройство электропитания микрофонов с «фантомным» питанием, включение которого также производится при включении третьего канала.

Канал 2 предназначен для работы с активными ИСР акселерометрами. Включение устройства электропитания датчика производится при непосредственном включении второго канала.

Канал 3 предназначен для измерения и анализа электрических сигналов с низкими уровнями.

1.2. Генератор «СПРУТ-ГЗ».

Генератор предназначен для формирования тестовых акустических сигналов таких как: непрерывный гармонический сигнал на фиксированной частоте, «белый» шум, «розовый» шум, шум в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц и речеподобный сигнал.

Генератор тестовых акустических сигналов «СПРУТ-ГЗ» представляет собой функционально-законченное устройство с собственными органами управления, индикации и устройством электропитания. Он может использоваться как автономно, так и в «централизованном» режиме (под управлением ПЭВМ).

1.3. Специальное математическое программное обеспечение (СМПО).

СМПО предназначено для управления аппаратурой комплекса «Спрут-мини», получения данных от датчиков, обработки полученных результатов и формирования отчетов установленной формы по результатам проведенных измерений.

К решаемым СМПО задачам относятся:

- определение отношений «речевой сигнал/акустический шум» в контрольных точках в октавных полосах для нормированного энергетического спектра речевого сигнала;

- определение отношений «речевой сигнал/вибрационный шум» в контрольных точках в октавных полосах для нормированного энергетического спектра речевого сигнала;

- определение словесной разборчивости речи в контрольных точках для нормированного энергетического спектра речевого сигнала;

- измерение уровней сигналов НЧ наводок на токопроводящих элементах ограждающих конструкций и электроакустических преобразований в линиях ТСПИ;

- определение значений коэффициентов защищенности контролируемых линий;
- измерение уровней сигналов, наведенных за счет побочных электромагнитных излучений от технических средств в речевом диапазоне;
- определение значений коэффициентов защищенности контролируемых технических средств.

2. Система зашумления.

Система зашумления предназначена для создания помех с целью защиты от прослушивания по акустическому и виброакустическому каналам.

Состав системы зашумления:

- блок генератора ANG-2200;
- вибрационные преобразователи TRN-2000;
- всенаправленные акустические излучатели OMS-2000.

ANG-2200 представляет собой 2 отдельных генератора шума, создающих направленное зашумление. Вибрационный преобразователь TRN-2000 предназначен для защиты стен, окон, потолка, электропроводки, вентиляции. Всенаправленный акустический излучатель OMS-2000 предназначен для защиты пространства подвесных потолков, ниш, шкафов, вентиляционных коробов. Для каждого излучателя применяются различные крепежи, в зависимости от поверхности: стены, окна, системы трубопроводов и т.д. При помощи регуляторов высоких и низких частот возможно задание определенных параметров шума.

Проведение лабораторного исследования

Оценка эффективности защиты речевой информации от утечки по акустическому каналу заключается в количественной оценке величины показателя эффективности защиты речевой информации и последующим ее сравнением с нормированными значениями. Эффективность защиты речевой информации от утечки по акустическому каналу оценивается по одному из двух показателей:

- словесная разборчивость речи, определяемая в контрольных точках;
- распределение отношений «речевой сигнал/акустический шум» в октавных полосах частот в контрольных точках.

1. Подготовка к работе.

1.1. Измерительный микрофон подключается ко входу третьего канала концентратора.

1.2. Подключается акустическая система к выходу «Акуст. система» генератора.

1.3. Подключается акустический излучатель OMS – 2000 к генератору шума ANG – 2200.

1.4. Подключается генератор шума к сети питания 220 В.

1.5. Выбирается контрольная точка.

1.6. Включается питание генератора.

1.7. Включается питание концентратора.

1.8. Если индикатор заряда аккумуляторных батарей (в правом верхнем углу жидкокристаллического индикатора (ЖКИ)) показывает, что батареи разряжены, то их следует зарядить с использованием штатного зарядного устройства.

2. Выполнение измерений.

2.1. Измеряется уровень тестового акустического сигнала, формируемого блоком внутри контролируемого помещения.

2.1.1. Устанавливается измерительное оборудование согласно рис. 1.

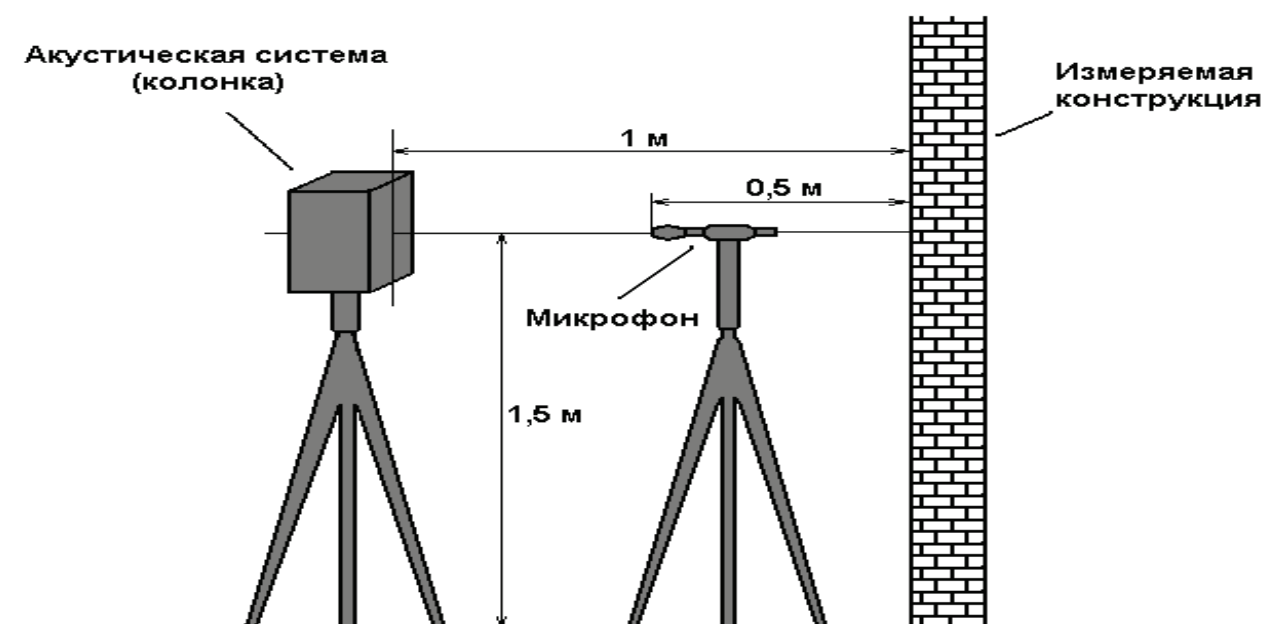


Рис. 1

2.1.2. Настраивается генератор:

- выбирается вид тестового сигнала «Шум», генератор переходит в режим выбора вида тестового сигнала при включении, выбор осуществляется с использованием курсорных кнопок пленочной клавиатуры ▲▼ и ◀▶ с последующим нажатием кнопки Enter, после нажатия кнопки Enter прибор переходит в режим выбора вида шумового сигнала;

- выбирается вид шумового сигнала «Белый», выбор осуществляется с использованием кнопок ▲▼ и ◀▶ с последующим нажатием кнопки Enter, после нажатия кнопки Enter прибор переходит в меню корректировки спектра шумового сигнала;

- выбирается режим «Эквалайзер выкл», выбор осуществляется с использованием кнопок ◀▶ с последующим нажатием кнопки Enter, после нажатия кнопки Enter генератор переходит в режим регулировки уровня шумового сигнала;

- устанавливается уровень шумового сигнала «35 дБ», регулировка уровня шумового сигнала производится с использованием кнопок ◀▶.

2.1.3. Настраивается концентратор:

- выбирается тип датчика «Микрофон», при включении концентратор автоматически переходит в режим выбора типа канала (датчика), выбор типа датчика осуществляется с использованием курсорных кнопок ▲▼ и последующим нажатием кнопки Enter, после нажатия кнопки Enter концентратор переходит в режим выбора коэффициента усиления;

- выбирается коэффициент усиления, равный 30, выбор коэффициента усиления осуществляется с использованием курсорных кнопок ▲▼.

2.1.4. Включается шумовой сигнал.

Включение шумового сигнала на воспроизведение производится нажатием кнопки Enter пленочной клавиатуры генератора (выход из цикла воспроизведения шумового сигнала производится нажатием кнопки Out пленочной клавиатуры генератора).

2.1.5. Проводится единичное измерение.

Проведение единичного измерения производится из режима выбора коэффициента усиления. Для проведения единичного измерения необходимо нажать кнопку Start пленочной клавиатуры, при этом на нижнем поле экрана ЖКИ последовательно появятся надписи ВЫПОЛНЕНО и Enter-запись. Над-

пись ВЫПОЛНЕНО свидетельствует об окончании проведения единичного измерения.

2.1.6. Выключается шумовой сигнал.

Выключение шумового сигнала производится нажатием кнопки Out пленочной клавиатуры генератора.

2.1.7. Сохраняется результат измерения:

- осуществляется переход к банку памяти концентратора, который выполняется после проведения единичного измерения нажатием кнопки Enter, после чего на экране ЖКИ появится таблица результатов измерений, хранящихся в базе данных концентратора; цифры первой колонки таблицы обозначают номер банка памяти концентратора, в котором хранятся результаты единичных измерений; буквенные сокращения во второй колонке обозначают тип датчика, с помощью которого проводилось измерение (ВИБ – вибродатчик, МИК – микрофон и ЛИН – линейный канал); буквенные сокращения третьей колонки идентифицируют вид измеряемого сигнала по трем категориям: тестовый сигнал (С), фоновый или помеховый сигнал (П) и суммарный сигнал (С+П); в четвертой колонке находится идентификатор проведенного измерения (имя измерения), введенный пользователем;

- выбирается номер банка памяти для сохранения измерений, что осуществляется с использованием курсорных кнопок ▲▼ и нажатием кнопки Enter, после чего на экране ЖКИ появится запрос подтверждения записи;

- подтверждается запись в банк памяти, что осуществляется использованием курсорных кнопок ▲▼ и нажатием кнопки Enter, после чего на экране ЖКИ появится меню заполнения заголовка банка памяти концентратора;

- вводится имя проведенного измерения, что осуществляется с использованием курсорных кнопок ▲▼◀▶ и кнопки Enter;

- сохраняется имя проведенного измерения, что осуществляется после ввода имени нажатием кнопки Start, после чего на экране ЖКИ появится подтверждение сохранения имени, измерения – СОХРАНЕНО, после этого появится экранная форма ввода вида измеряемого сигнала;

- выбирается вид измеряемого сигнала «Сигнал», что осуществляется с использованием курсорных кнопок ◀▶ и нажатием кнопки Start, после этого на экране ЖКИ появится подтверждение сохранения вида измеряемого сигнала – СОХРАНЕНО и автоматически загрузится список результатов измерений, хранящихся в базе данных концентратора с занесенными изменениями.

2.2. Измеряется уровень фонового шума в контрольной точке. Устанавливается оборудование согласно рис. 2.

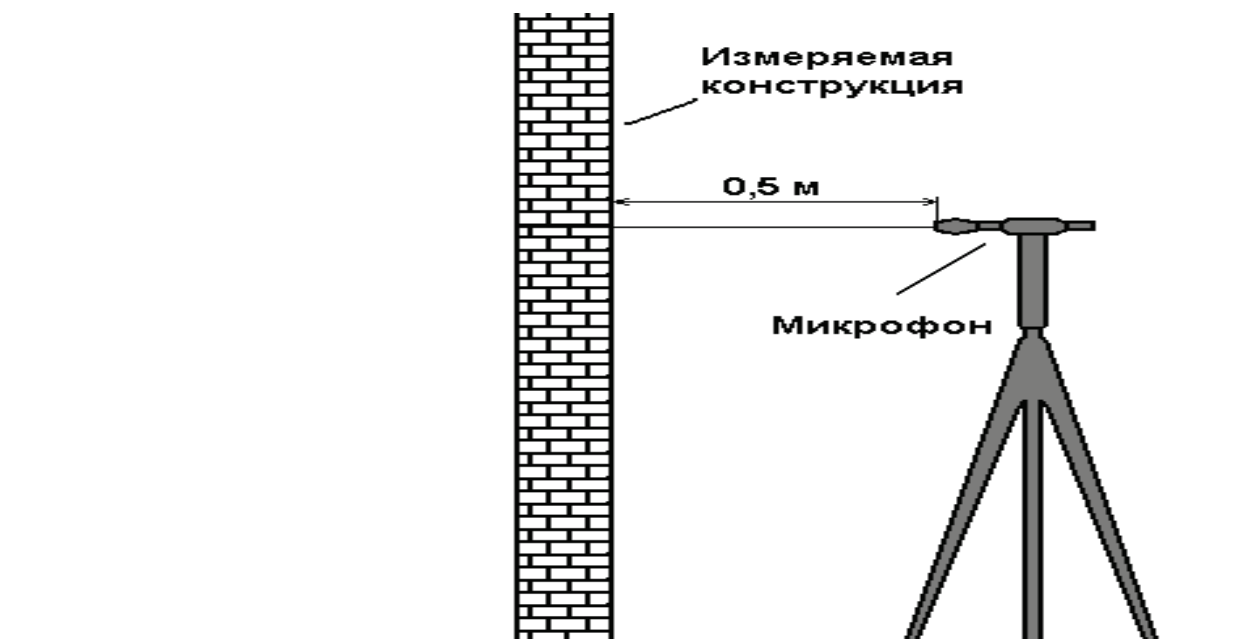


Рис. 2

2.2.1. Настраивается концентратор:

- осуществляется переход в режим «Проведение измерения», для чего нажимается кнопка Mode для перехода в меню выбора режима работы и в появившемся меню выбирается пункт «Проведение измерения»; выбор пункта меню прибора производится с использованием кнопок ▲ ▼ с последующим нажатием кнопки Enter;

- выбирается коэффициент усиления, равный 30 (выбор коэффициента усиления осуществляется с использованием курсорных кнопок ▲ ▼).

2.2.2. Проводится единичное измерение в соответствии с п.2.1.5.

2.2.3. Сохраняется результат измерения в соответствии с п.2.1.7. После сохранения имени проведенного измерения выбирается вид измеряемого сигнала «Помеха».

2.3. Измеряется уровень тестового акустического сигнала в контрольной точке.

2.3.1. Устанавливается оборудование согласно рис. 3.

2.3.2. Настраивается концентратор согласно п.2.2.1.

2.3.3. Включается шумовой сигнал нажатием кнопки Out пленочной клавиатуры генератора.

2.3.4. Проводится единичное измерение согласно п.2.1.5.

2.3.5. Выключается шумовой сигнал нажатием кнопки Out пленочной клавиатуры генератора.

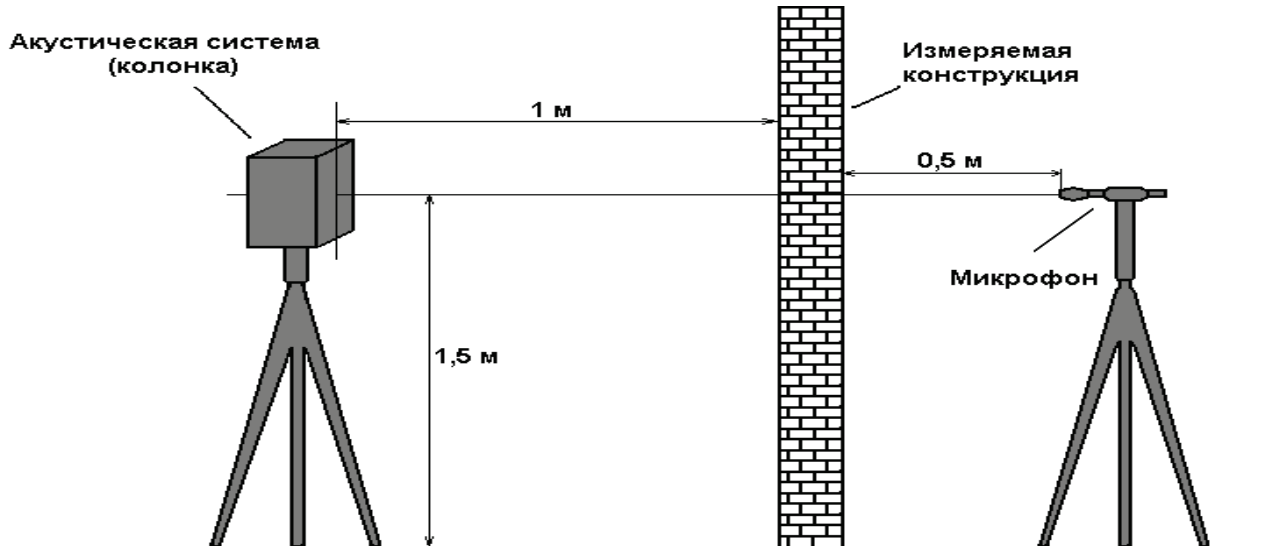


Рис. 3

2.3.6. Сохраняется результат измерения согласно п.2.1.7, после сохранения имени проведенного измерения выбирается вид измеряемого сигнала «Сигнал + Помеха».

2.4. Измеряется уровень фонового шума, создаваемого системой виброакустического зашумления в контрольной точке.

2.4.1. Устанавливается оборудование согласно рис. 4.

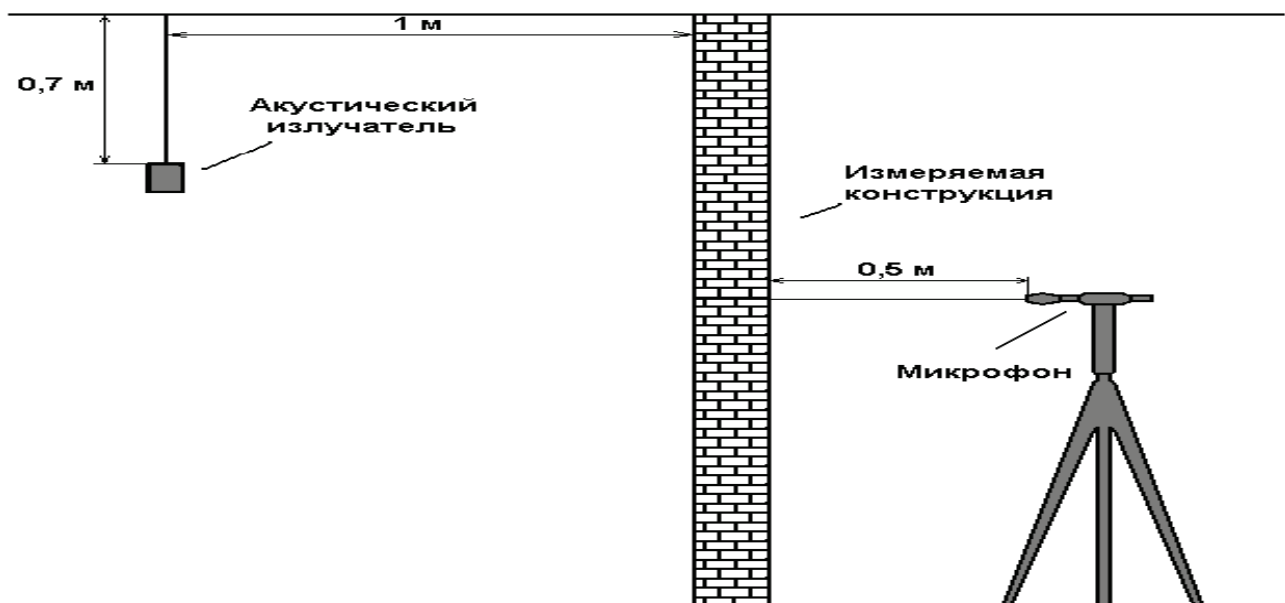


Рис. 4

2.4.2. Настраивается концентратор согласно п.2.2.1.

2.4.3. Включается и настраивается генератор шума:

- нажимается кнопка включения питания генератора шума Power ON;
- регулятор высоких частот поворачивается в крайнее правое положение;
- регулятор низких частот поворачивается в крайнее правое положение;
- с помощью регулятора уровня сигнала устанавливается 4 деления шкалы индикатора.

2.4.4. Проводится единичное измерение согласно п.2.1.5.

2.4.5. Выключается генератор шума нажатием кнопки Power ON.

2.4.6. Сохраняется результат измерения согласно п.2.1.7, после сохранения имени проведенного измерения выбирается вид измеряемого сигнала «Помеха».

2.5. Измеряется уровень тестового акустического сигнала и фонового шума в контрольной точке.

2.5.1. Устанавливается оборудование согласно рис. 5.

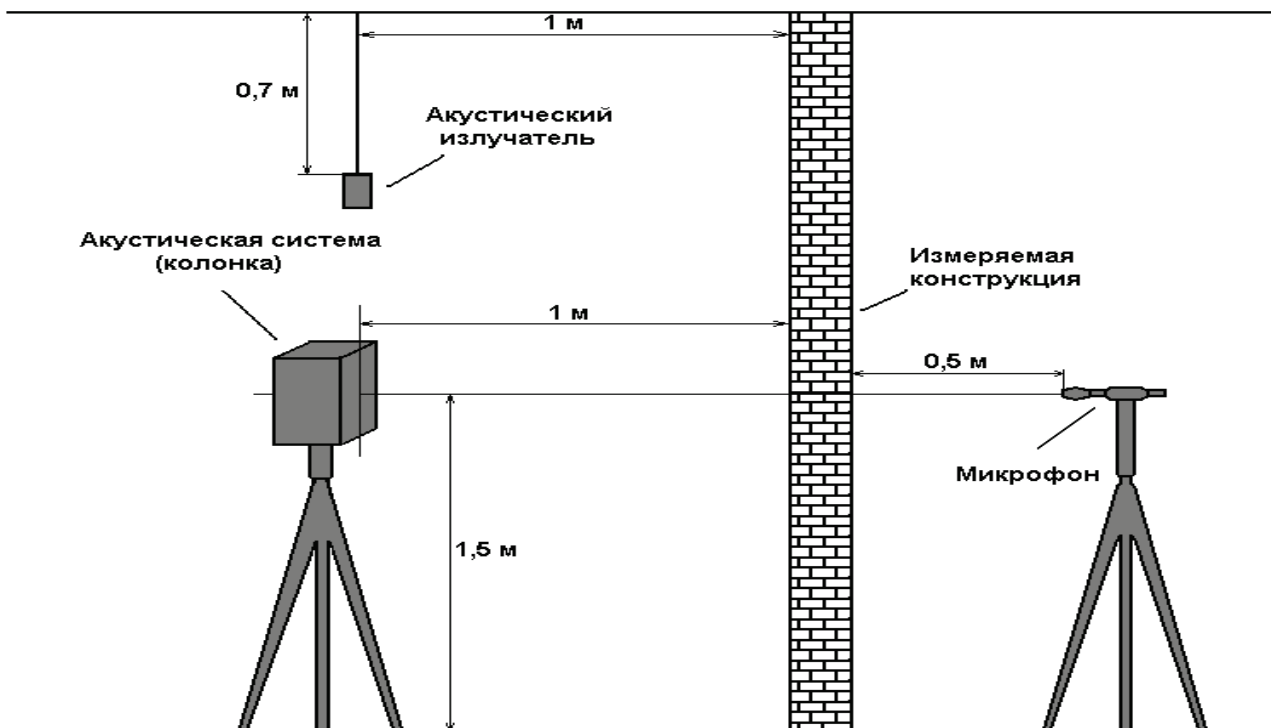


Рис. 5

2.5.2. Настраивается концентратор согласно п.2.2.1.

2.5.3. Включается и настраивается генератор шума согласно п.2.4.3.

2.5.4. Включается шумовой сигнал нажатием кнопки Out пленочной клавиатуры генератора.

2.5.5. Проводится единичное измерение согласно п.2.1.5.

2.5.6. Выключается шумовой сигнал нажатием кнопки Out пленочной клавиатуры генератора.

2.5.7. Выключается генератор шума нажатием кнопки Power ON.

2.5.8. Сохраняется результат измерения согласно п.2.1.7, после сохранения имени проведенного измерения выбирается вид измеряемого сигнала «Сигнал + Помеха».

2.6. Измеряется уровень фонового шума, создаваемого системой виброакустического зашумления в контрольной точке.

Измерения проводятся аналогично п.2.4 с тем отличием, что в генераторе шума с помощью регулятора уровня сигнала устанавливаются 8 делений шкалы индикатора.

Измерения проводятся повторно с увеличением уровня излучаемого генератором шума сигнала, так как в предыдущем пункте норма для установленной категории не выполняется.

2.7. Измеряется уровень тестового акустического сигнала и фонового шума в контрольной точке.

Измерения проводятся аналогично п.2.5 с тем отличием, что в генераторе шума с помощью регулятора уровня сигнала устанавливаются 8 делений шкалы напряжения.

3. Анализ результатов измерений.

3.1. Подготовка к работе.

3.1.1. Подключается концентратор к ПЭВМ с установленным СМПО, для чего соединяется выход концентратора «ПЭВМ (RS-232)» с последовательным портом управляющей ПЭВМ с помощью специального соединительного шнура СОМ-СОМ DB, тумблер включения питания концентратора при этом должен находиться в положении О (выкл.).

3.1.2. Включается компьютер.

3.1.3. Ставится в положение ВКЛ тумблер на передней панели концентратора.

3.1.4. Запускается СМПО с помощью исполняемого файла, который может быть выбран через меню «Пуск», «Программы» ОС «Windows» либо через «Проводник», после запуска программа переходит в меню выбора режима работы.

3.1.5. В меню выбора режима нажимается кнопка «Выбрать режим позднее», после чего программа переходит в меню «Работа с прибором».

3.1.6. В меню «Работа с прибором» выбирается «Подключить концентратор».

3.1.7. Сохраняются результаты измерений в архив ПЭВМ:

- осуществляется переход в экранную форму «Сохранение банков памяти прибора в архив», для чего в главной экранной форме выбирается пункт главного меню «Файл», в списке файлов выбирается «Сохранение банков в архив»;

- загружаются банки памяти из прибора, для чего в экранной форме «Сохранение банков памяти прибора в архив» нажимается кнопка «Загрузить банки памяти из прибора», после этого в поле «Состояние банков памяти устройства» появятся файлы, сохраненные в архиве банков памяти концентратора;

- вводится имя файла в поле «Имя файла»;

- сохраняются результаты измерений в архив нажатием на кнопку «Сохранить»;

- закрывается окно «Сохранение банков памяти устройства в архив».

3.2. Оформляется протокол № 1.

3.2.1. Выбирается вид контроля «Акустический», для чего нажимается кнопка выбора вида контроля, расположенная в верхней части главной экранной формы, и в появившемся меню выбирается вид контроля «Акустический контроль».

3.2.2. Выбирается категория НП, для чего нажимается кнопка выбора категории, расположенная в верхней части главной экранной формы, и в появившемся меню выбирается категория НП.

3.2.3. Открывается экранная форма «Работа с банками устройства»:

- осуществляется переход в экранную форму «Загрузка банка памяти концентратора из архива», для чего в главной экранной форме выбирается

пункт главного меню «Файл», в списке файлов выбирается «Загрузка банков из архива»;

- осуществляется переход в экранную форму «Работа с банками устройства», для чего в правом окне экранной формы «Загрузка банка памяти концентратора из архива» выбирается имя файла, который был введен в пункте 3.1.7, и дважды щелкается по нему левой кнопкой мыши.

3.2.4. Выбираются необходимые для составления отчета сигналы:

- ставится галочка напротив сигнала, измеренного в п.2.1;

- ставится галочка напротив помехи, измеренной в п.2.2;

- ставится галочка напротив сигнала +помехи, измеренных в п.2.3.

3.2.5. Закрывается экранная форма «Работа с банками устройства».

3.2.6. Формируется и сохраняется протокол:

- нажимается кнопка «Расчет», после чего появится экранная форма «Просмотр результатов расчета»;

- нажимается кнопка «Протокол», после чего появится меню сохранения результатов измерения;

- выбирается пункт меню «Новый протокол», после чего появится протокол в формате «Документ Microsoft Word»;

- сохраняется «Документ Microsoft Word» под любым именем.

3.3. Оформляется протокол № 2.

3.3.1. Выбирается вид контроля «Акустический» согласно п.3.2.1.

3.3.2. Выбирается категория НП согласно п.3.2.2.

3.3.3. Открывается экранная форма «Работа с банками устройства» согласно п.3.2.3.

3.3.4. Выбираются необходимые для составления отчета сигналы:

- ставится галочка напротив сигнала, измеренного в п.2.1;

- ставится галочка напротив помехи, измеренной в п.2.4;

- ставится галочка напротив сигнала + помехи, измеренных в п.2.5.

3.3.5. Закрывается экранная форма «Работа с банками устройства».

3.3.6. Формируется и сохраняется протокол согласно п.3.2.6.

3.4. Оформляется протокол № 3 аналогично п.3.3 с тем отличием, что выбирается категория 2,3.

3.5. Оформляется протокол № 4.

3.5.1. Выбирается вид контроля «Акустический» согласно п.3.2.1.

3.5.2. Выбирается категория 2,3 согласно п.3.2.2.

3.5.3. Открывается экранная форма «Работа с банками устройства» согласно п.3.2.3.

3.5.4. Выбираются необходимые для составления отчета сигналы:

- ставится галочка напротив сигнала, измеренного в п.2.1;
- ставится галочка напротив помехи, измеренной в п.2.6;
- ставится галочка напротив сигнала + помехи, измеренных в п. 2.7.

3.5.5. Закрывается экранная форма «Работа с банками устройства».

3.5.6. Формируется и сохраняется протокол согласно п.3.2.6.

Содержание отчёта

1. Схемы установок измерительного оборудования.
2. Результаты измерений, протоколы.
3. Анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Назначение, основные технические характеристики и состав комплекса «СПРУТ-МИНИ».
2. Назначение и состав применяемой системы зашумления.
3. Задачи, решаемые СМПО.
4. Настройка генератора «СПРУТ-Г3».
5. Настройка сигнального концентратора «СПРУТ-М3».
6. По какому показателю оценивается эффективность защиты речевой информации от утечки по акустическому каналу?
7. Как выбираются контрольные точки?
8. Методика измерения уровня тестового акустического сигнала, формируемого блоком внутри контролируемого помещения.

9. Методика измерения уровня тестового акустического сигнала и фона в контрольной точке.

10. Методика сохранения результатов измерений в архиве ПЭВМ и оформления протоколов по результатам измерений.

Литература

1. Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Мещеряков Р.В., Скрыль С.В., Голубятников И.В. Технические средства и методы защиты информации. М.: Машиностроение. 2009.

2. Торокин А.А. Инженерно-техническая защита информации. М.: Гелиос АРВ, 2005.

3. Электронные версии технических описаний используемого оборудования.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

Контроль эффективности защиты информации в средствах вычислительной техники от утечки через побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ) с помощью ПАК «НАВИГАТОР – ПЗГ»

Цель работы- ознакомление студентов с работой программно-аппаратного комплекса «НАВИГАТОР-ПЗГ».

Основные теоретические сведения

При контроле эффективности защиты информации в средствах вычислительной техники от утечки через ПЭМИ производятся специальные измерения, их результаты сравниваются с соответствующими нормами. При невыполнении норм осуществляются мероприятия по защите цифровой информации.

Краткое описание используемого оборудования

1. Программно-аппаратный комплекс «НАВИГАТОР-ПЗГ» предназначен для проведения специальных исследований, аттестационных испытаний и контроля защищенности объектов автоматизации от утечки информации через побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН) и электроакустические преобразования, распространяющихся как в радиоэфире, так и в проводных линиях, в соответствии с действующими нормативно-методическими документами, а так же для поиска и измерения характеристик ПЭМИН при проведении инженерных исследований различной аппаратуры.

Состав комплекса:

- измерительная подсистема, состоящая из анализатора спектра (измерительного приемника) и комплекта измерительных антенн;
- управляющая подсистема, состоящая из ПЭВМ типа Notebook или IBM PC;
- специальное программное обеспечение «Навигатор П».

В состав специального программного обеспечения «Навигатор П» входят измерительная и расчетная программы. Измерительная программа осуществляет поиск и измерение пиковой амплитуды сигналов ПЭМИН и уровня шума, а расчетная программа производит расчет требуемых показателей защищенности. Обе программы могут использоваться как самостоятельно, обмениваясь данными через файл, так и совместно (расчетная программа вызывается из измерительной с передачей ей данных измерений).

Для поиска сигналов ПЭМИН в программе «Навигатор» реализованы четыре метода: метод разности панорам, аудио-визуальный метод, экспертный метод и параметрическо-корреляционный метод. Первые три метода являются универсальными, то есть, предназначены для поиска любых сигналов ПЭМИН. Четвертый метод – параметрическо-корреляционный метод предназначен только для поиска ПЭМИН видеосистемы компьютера (видеоадаптер-монитор), исключая цифровые каналы передачи видеоданных (TFT матрицы). Поиск ПЭМИН можно проводить как отдельными методами, так и комбинировать их при работе.

Методы поиска отличаются друг от друга по степени участия в них оператора. Полностью автоматическим методом является параметрическо-корреляционный метод поиска ПЭМИН мониторов. За ним по степени автоматизации следует метод разности панорам. Аудио-визуальный метод и экспертный метод можно считать автоматизированными методами.

Принимая во внимание тот факт, что работа ведется со слабыми сигналами, идентифицировать которые зачастую может только человек, используя свою интуицию и опыт, то по качеству получаемых результатов методы поиска можно расположить в порядке обратном степени автоматизации. Самые лучшие результаты получаются экспертным методом. Хорошие результаты дает аудио – визуальный метод, и замыкает ряд метод разности панорам. Разница в результатах работы проявляется в нахождении слабых сигналов. Сигналы, превышающие шум на 4-6 дБ все методы находят устойчиво при условии правильно сформированного задания на поиск сигналов.

Параметрическо-корреляционный метод исследования мониторов дает очень хорошие результаты при условии, что существует один или несколько хорошо различимых сигналов ПЭМИН, которые метод использует как базу для дальнейшего поиска. Если таких сигналов нет, то метод может ничего не найти или принять неверные решения. В любом случае, так как ответственность за проведенную работу несет оператор, результаты работы автоматических методов необходимо проконтролировать.

Все методы на первом этапе требуют получить две панорамы сигналов – с выключенным тестовым сигналом и с включенным тестовым сигналом. Чтобы уменьшить уровень шумов в панорамах необходимо использовать алгоритмы усреднения. Для этого в задании устанавливается некоторое количество раз усреднений (например, 10-20), а в меню убирается галочка из условия «Для работы использовать трассу максимумов». При этом в задании необходимо указать корректное время измерения одной панорамы, при которой сигнал ПЭМИН будет надежно обнаруживаться, и его форма не будет искажаться.

ся. Каждая панорама будет измеряться указанное в задании число раз, и затем все измеренные панорамы будут усреднены. Амплитуда шума при этом уменьшится, и сигнал будет хорошо виден над усредненной шумовой дорожкой.

Метод разности панорам.

Принцип поиска сигналов ПЭМИН этим методом основан на том, что при тестовом режиме работы оборудования тестовый сигнал создает периодическую последовательность сигналов в электрических цепях, которые в свою очередь вызывают появление новых сигналов в радиоэфире.

Для поиска сигналов ПЭМИН методом разности панорам проводятся два измерения уровней электромагнитного поля около исследуемого объекта – первый раз при выключенном, а второй раз при включенном тестовом сигнале. Далее происходит вычитание графика уровней электромагнитного поля, измеренного при выключенном тестовом сигнале из графика уровней электромагнитного поля, измеренного при включенном тестовом сигнале. Зарегистрированные частотные точки, в которых сигналы из второго графика превысили сигналы из первого графика на заранее определенный оператором порог, попадают в список частот вероятных сигналов ПЭМИН.

Кроме истинных частот ПЭМИН в список найденных сигналов попадают и ложные частоты – шумы и излучения других радиотехнических средств, включившихся в работу между двумя измерениями. Поэтому, все точки сформированного списка необходимо проверить на принадлежность к составляющим ПЭМИН тестируемой аппаратуры. Для этих целей используются две операции автоматической верификации.

При проведении первой верификации тестовый сигнал остается включенным. Последовательно измеряются уровни сигналов всех точек сформированного списка. Если вновь измеренный уровень электромагнитного излучения в исследуемой точке существенно изменился (на величину, превышающую 50% от амплитуды ранее зарегистрированного сигнала над уровнем шума – например, выключился), то предполагается, что данный сигнал принадлежит какому-то другому радиотехническому средству, включившемуся в работу в интервале времени между двумя измерениями.

При проведении второй верификации происходит то же самое измерение уровней электромагнитного излучения в точках списка, но уже с выключенным тестом. Критерием для отбраковки точки является наличие сигнала на исследуемой частоте. В данной ситуации можно говорить о том, что какое-то

техническое средство «включилось» в эфир сразу после снятия фоновой обстановки и до сих пор работает.

Сигналы, отбракованные на этапах верификации, не удаляются из списка, а помечаются красным цветом для первой верификации и зеленым цветом для второй верификации. Обе верификации можно проводить несколько раз. Чем больше циклов верификаций, тем больше отбраковывается ложных сигналов, но в этом случае за счет флюктуаций шумов могут отбраковываться и свои точки ПЭМИН, имеющие маленькую амплитуду по отношению к шуму. При практической работе можно опираться на следующие экспериментальные данные (уровень порога обнаружения 6 дБ): при 4-х циклах (повторах) верификаций отсеиваются до 98% ложных сигналов и 5-10 % точек ПЭМИН, имеющих амплитуду, не превышающую 4-6 дБ. Точки ПЭМИН, превышающие по амплитуде 8-10 дБ над уровнем фона, верификациями практически не отсеиваются. При проведении нескольких верификаций необходимо установить галочку в поле.

Окончательное решение по поводу принадлежности точек списка к ПЭМИН принимает оператор в экспертном режиме работы на этапе измерения амплитуды сигналов ПЭМИН.

Выводы по методу разности панорам:

- участие оператора необходимо только для включения и выключения тестового режима работы исследуемого ОТСС (основные технические средства и системы) и контроля принятых программой решений на этапе измерения амплитуды сигналов ПЭМИН с учетом их диаграммы направленности и вектора поляризации;

- хорошо обнаруживает только сильные сигналы ПЭМИН, у которых отношение сигнал/шум превышает 6-10 дБ;

- для типового технического средства «монитор ПЭВМ» время поиска составляет 5-10 минут.

Аудиовизуальный метод.

В этом методе используется метод визуального контроля амплитудного спектра сигнала рис. 1. Данный метод подразумевает на первом этапе получение двух спектров электромагнитной обстановки – с выключенным и включенным тестовым сигналом (начало такое же, как и в методе разности панорам). Далее оператор осматривает полученные графики и исследует подозрительные сигналы. Вся работа производится только с помощью мышки. Для

работы оператору предоставлены широкие и гибкие возможности: масштабирование

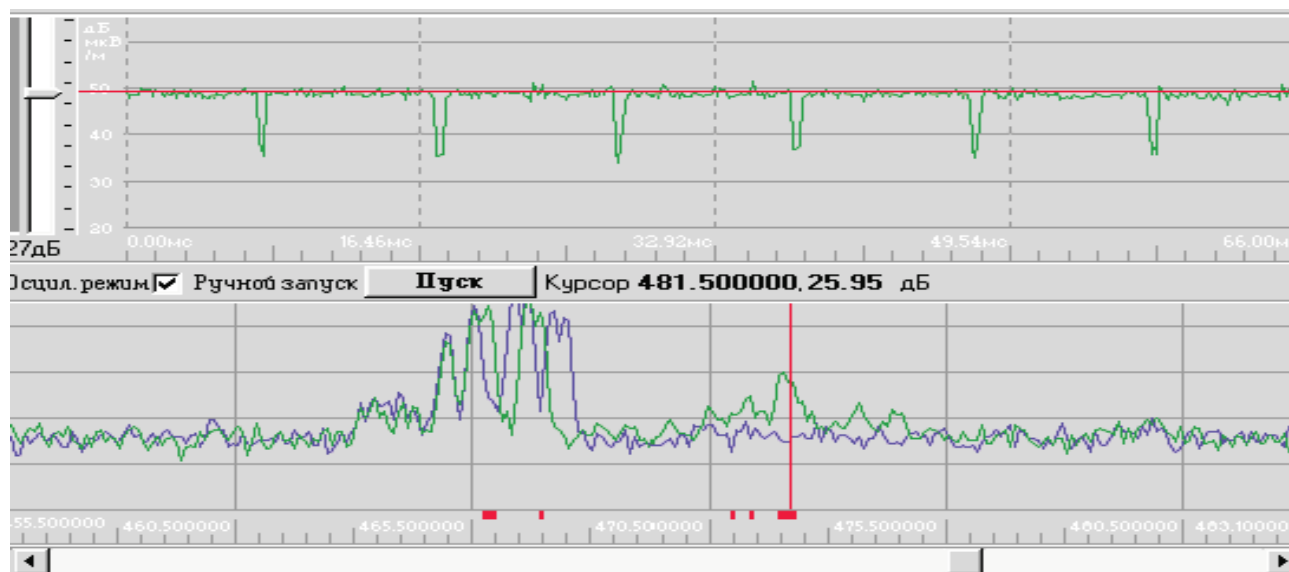


Рис. 1

графиков по оси X и Y, подкраска подозрительных сигналов, отображение осциллограмм и спектров подозрительных сигналов, виртуальная панель управления измерительным прибором и т.д. При нахождении информативного сигнала занесение его в список (частота, уровень сигнала и шума, полоса пропускания, тип поля) осуществляется нажатием мышки на кнопку

или в «экспертном» режиме работы.

Выводы по аудиовизуальному методу:

- оператор участвует во всех этапах работы;
- обнаруживает практически все сигналы с положительным отношением сигнал/шум для выбранной полосы пропускания;
- для типового технического средства «монитор ПЭВМ» время поиска составляет 3-10 минут.

Экспертный метод.

Экспертный метод поиска является модификацией хорошо известного метода поиска сигналов на частотах гармоник. Периодическая последовательность цифровых сигналов образует в радиоэфире ряд гармоник, частоты которых кратны $1/T$, где T – период следования импульсов тестового сигнала.

К недостаткам ручного метода поиска сигналов по гармоникам можно отнести то, что оператор не знает точную частоту сигнала первой гармоники.

Из-за этого после настройки на ориентировочную частоту очередной гармоники оператору приходится искать сигнал в окрестностях данной частоты. Каждый сигнал в радиоэфире имеет оптимальную для приема полосу пропускания, которая зависит от полосы частот, занимаемой сигналом, и уровня шума. При ручных исследованиях искать сигнал и оптимальные условия его приема занимает много времени.

Экспертный метод поиска устраняет указанный недостаток следующим образом: очень точно измеряется частота первой гармоники, затем частота каждой следующей гармоники прогнозируется. После настройки на эту частоту гармоники происходит поиск оптимальных условий ее приема, после чего частота первой гармоники уточняется по частоте высшей гармоники.

Выводы по экспертному методу:

- оператор участвует во всех этапах работы;
- более эффективный по сравнению с рассмотренными ранее методами;
- для типового технического средства «монитор ПЭВМ» время поиска составляет 8-15 минут.

Параметрическо – корреляционный метод.

Данный метод позволяет автоматически проверять принадлежность предварительно найденных методом разности панорам сигналов к ПЭМИН монитора без проведения верификаций списка сигналов, все частоты этого списка проверяются по параметрическому критерию: для каждого сигнала строится его параметрический портрет, который сравнивается с параметрическим портретом сигнала монитора. После анализа всех сигналов списка параметрические портреты сравниваются между собой и отбрасываются ложные сигналы. Далее прогнозируется частота первой гармоники и ищется ряд частот гармоник аналогично экспертному методу, но в автоматическом режиме. Каждый сигнал анализируется при нескольких полосах пропускания и выбирается та полоса пропускания, при которой наиболее качественно определяются параметры сигнала. По каждому следующему найденному сигналу гармоники уточняется частота первой гармоники.

Параметрическо-корреляционный метод можно использовать только для более углубленного поиска сигналов гармоник ряда найденных другими методами сигналов ПЭМИН.

Выводы по параметрическо-корреляционному методу:

- оператор принимает участие в работе два раза – он должен один раз включить и один раз выключить тестовый сигнал;

- эффективность метода одна из самых высоких; кроме анализа сигналов в списке, полученных «энергетическим» методом, прогнозируется частота первой гармоники, и ищутся сигналы высших гармоник, используя алгоритмы экспертного метода в автоматическом режиме, но результаты работы данного метода необходимо проверять;

- для типового технического средства «монитор ПЭВМ» время поиска составляет 20-40 минут.

2. Генератор шума ЛГШ-501 предназначен для работы в составе системы активной защиты информации, обрабатываемой на объектах ЭВТ первой, второй и третьей категорий путем создания широкополосной шумовой электромагнитной помехи в диапазоне частот от 0,01 до 1800 МГц.

Проведение лабораторного исследования

1. Подготовка к работе.

1.1. Устанавливается оборудование согласно рис. 2.

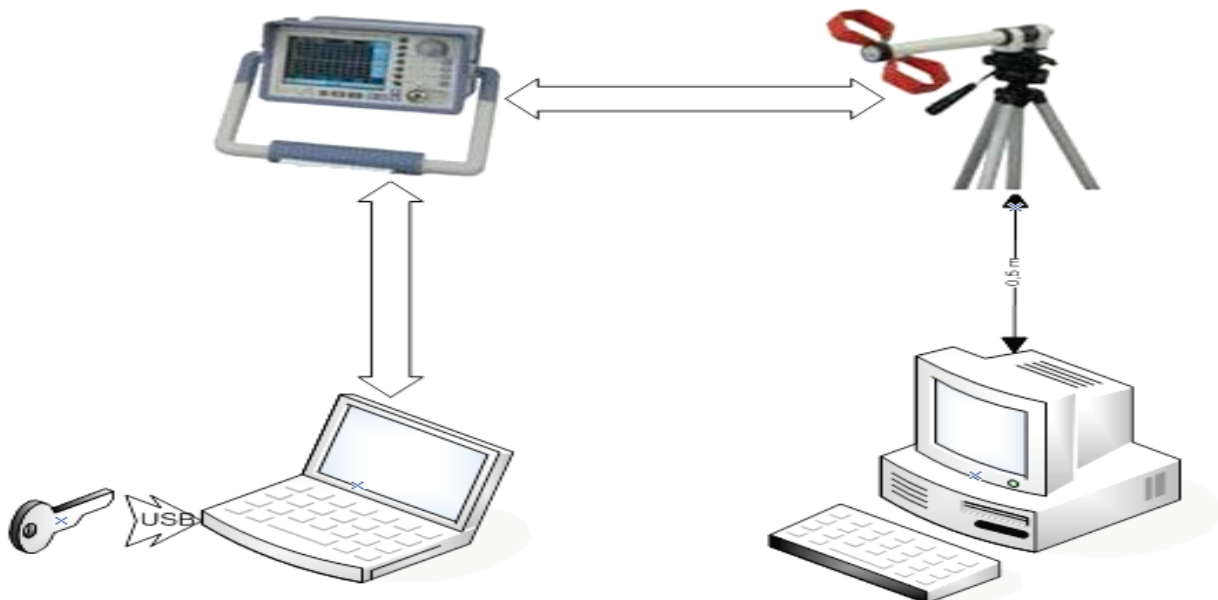



Рис. 2

1.2. Запускается программа «Измерительная задача» рис.3.

1.3. Настраивается программа перед измерениями:

- осуществляется заход в режим «Настройка: оборудование, антенны, частотные диапазоны» нажатием кнопки  ;

- страница «Диапазоны» используется для ввода списка частотных диапазонов, полос пропускания, типов антенн, количества усреднений измеряемой панорамы сигналов для каждого частотного диапазона рис.4.

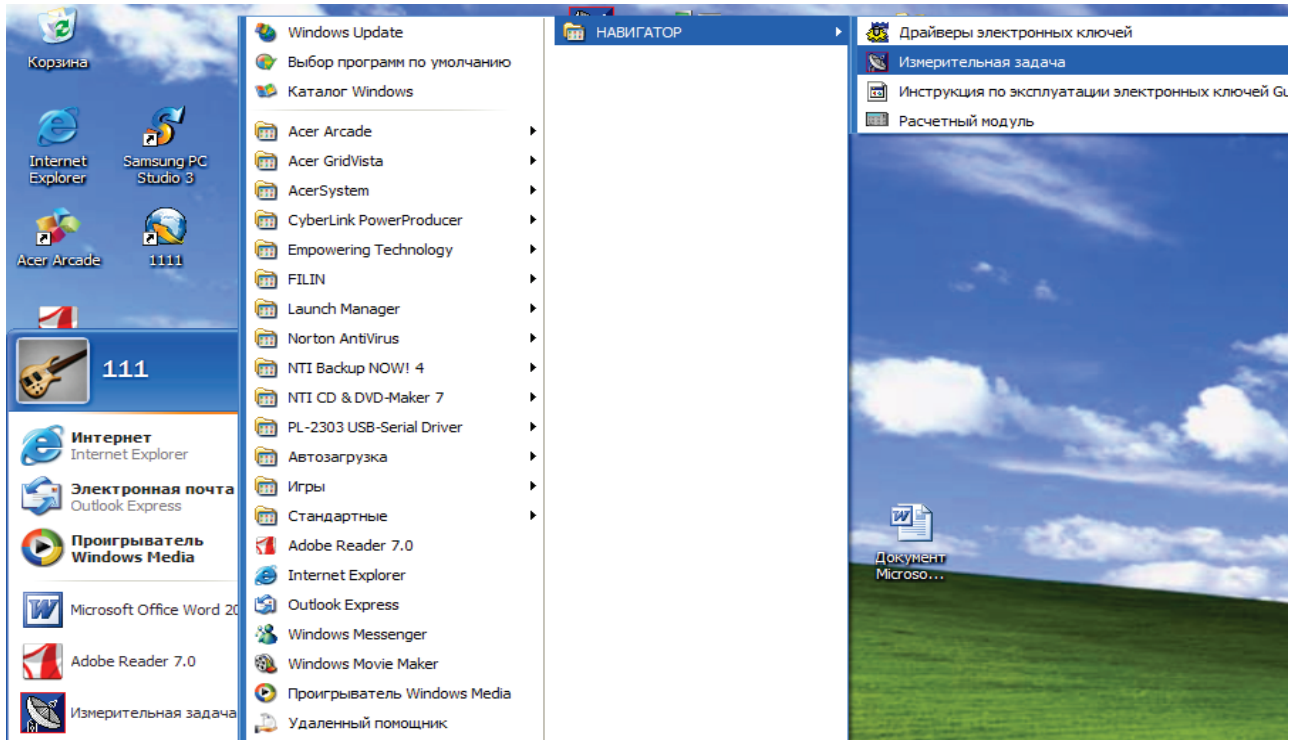


Рис. 3

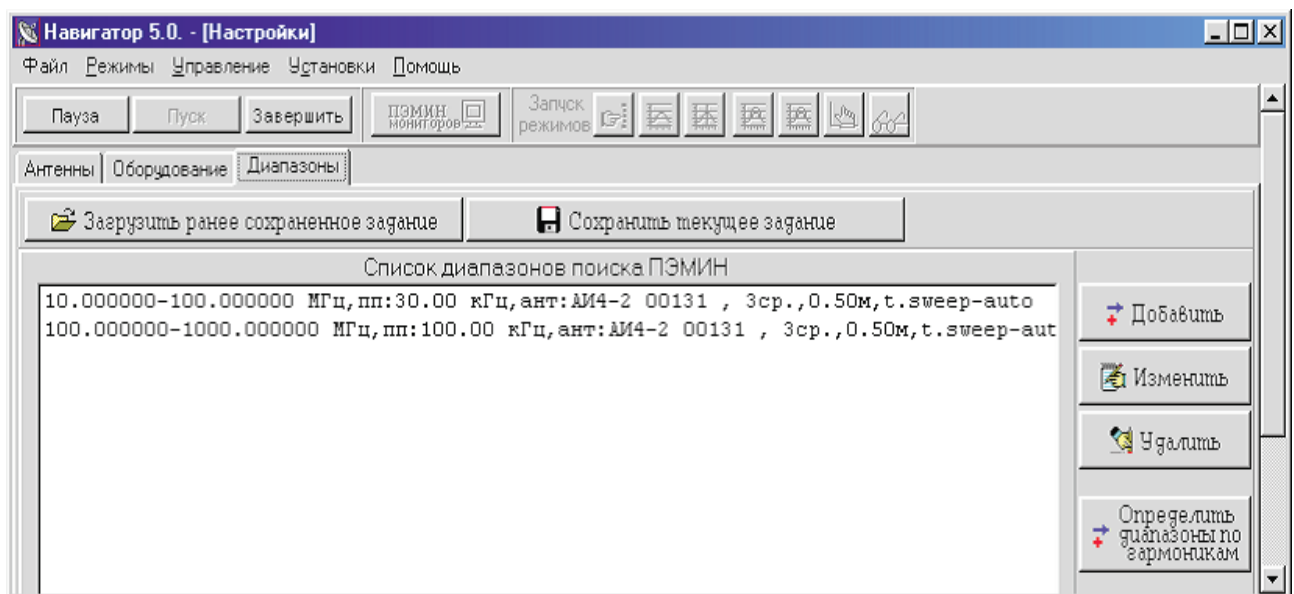


Рис. 4

Данные задания можно изменять (предварительно выбрав нажатием левой кнопки мышки нужную строку) с помощью соответствующей окну кнопки «Изменить». Частотный диапазон можно добавить, нажав на кнопку «Добавить», а ненужную строку можно удалить, нажав на кнопку «Удалить». При нажатии на кнопки «Добавить» или «Изменить» раскрывается диалоговое окно, предназначенное для определения частотного диапазона и всех связанных с ним характеристик рис.5.

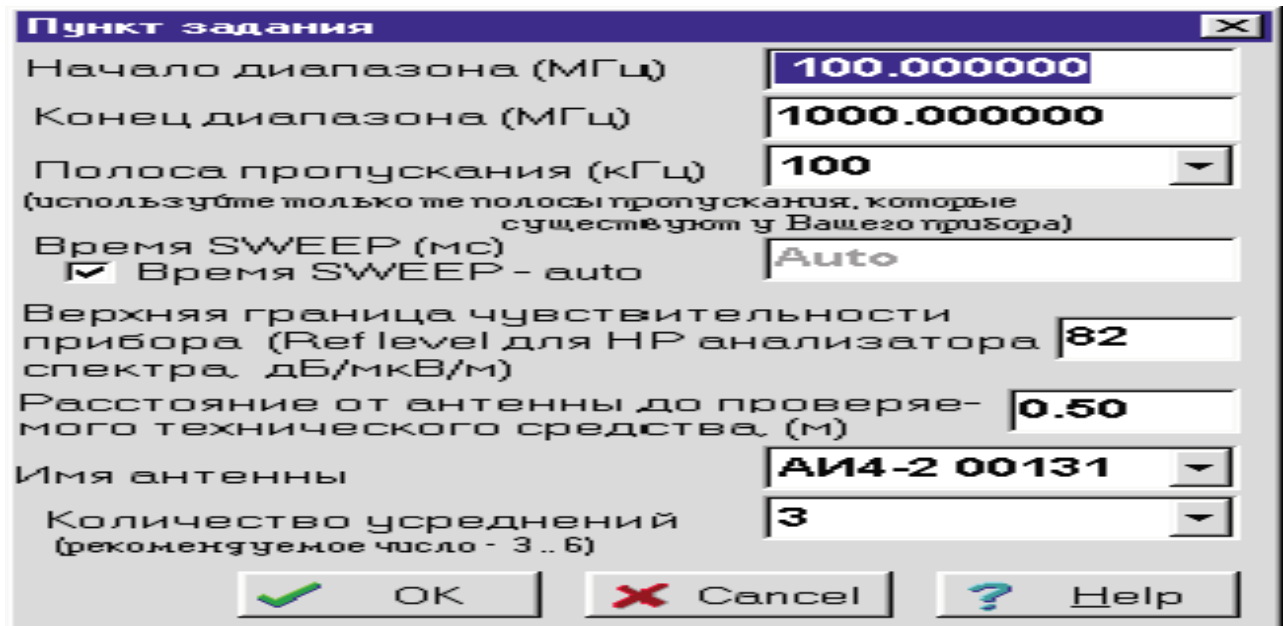


Рис. 5

В раскрывающемся окне задаются начало и конец частотного диапазона, полоса пропускания измерительного прибора, применяемая антенна (из списка ранее определенных антенн), расстояние от антенны до проверяемого технического средства, количество шагов усреднения прибора при измерении спектра электромагнитной обстановки, верхняя граница чувствительности (для анализатора спектра необходимо стремиться к тому, чтобы информация о спектре занимала не менее 80% области экрана по амплитуде);

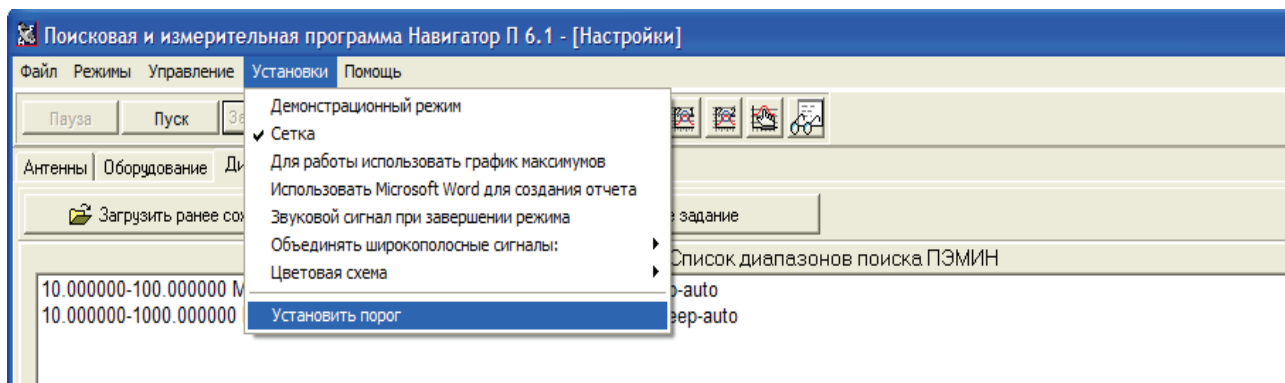






Рис. 6

- устанавливается значение порога обнаружения (рекомендуется 6 дБ)
рис. 6.



2. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ монитора методом разности панорам.

2.1. Выключается тест на исследуемом оборудовании и запускается режим «Снятие фоновой обстановки» нажатием кнопки .

2.2. Включается тест на исследуемом оборудовании и запускается режим «Обнаружение ПЭМИН» нажатием кнопки . После завершения работы режима «Обнаружение ПЭМИН» будет сформирован список сигналов, имеющих превышение над фоновой обстановкой на установленный порог при включенном тестовом сигнале.

2.3. Для удаления из списка частот, не являющихся сигналами ПЭМИН, запускаются режимы «Автоматическая верификация результатов 1» нажатием кнопки  и «Автоматическая верификация результатов 2» нажатием кнопки .

Данные операции повторяются два раза, установив в поле

Задано циклов верификаций:   Осталось: 2


Для того, чтобы не проверять уже отбракованные сигналы в поле ставится галочка.



Не восстанавливать
 ранее отбракованные
сигналы

3. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ монитора аудиовизуальным методом.

3.1. Выключается тест на исследуемом оборудовании и запускается режим «Снятие фоновой обстановки».

3.2. Включается тест на исследуемом оборудовании и запускается режим «Обнаружение ПЭМИН».

3.3. Осуществляется переход в «Экспертный» режим работы нажатием кнопки . Уничтожается список обнаруженных сигналов.

3.4. С помощью кнопок масштабирования  и  устанавливается удобный масштаб отображения графиков.

3.5. Визуально анализируются полученные графики, проверяя точки возможного наличия ПЭМИ с помощью графического маркера и запуска анализатора спектра в осциллографическом режиме и режиме измерения спектра. На графиках сигналы ПЭМИ как правило имеют вид, представленный на рис. 7 (выделены овалами).

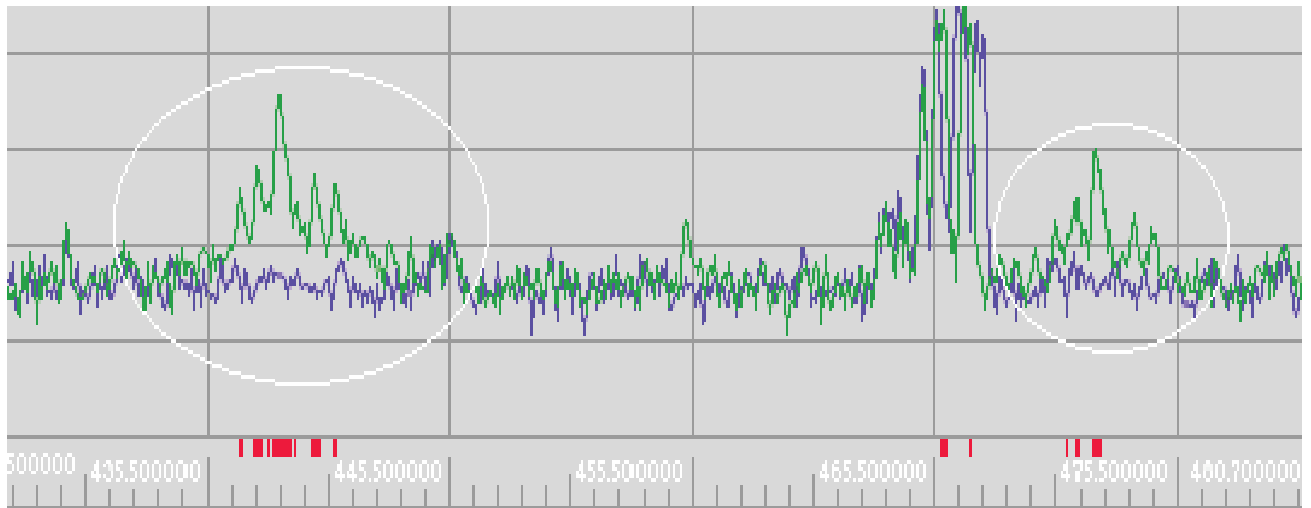


Рис. 7

3.6. С помощью мышки устанавливается маркер на подозрительный сигнал и проводится его тестирование, используя осциллографический режим работы анализатора, режим измерения спектра сигналов, включение и выключение тестового режима работы исследуемого технического средства.

3.7. При идентификации исследуемого сигнала как сигнала ПЭМИ монитора маркер устанавливается в точку максимума спектра сигнала, и заносится данная частотная точка в список с помощью кнопки `Fc, Ec+ш, Eш` или `Fc, Ec+ш`. При нажатии на эти кнопки, частотная точка курсора в нижнем графике и все данные, с ней связанные (уровень сигнала и уровень фона, полоса пропускания, антенна и т.д.), попадают в список ПЭМИ.

4. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ монитора экспертным методом.

В программе «Навигатор» реализованы средства, позволяющие максимально корректно искать сигналы ПЭМИ по кратным частотам первой гармоники. Основная идея данного подхода заключается в следующем: для того чтобы очень точно настроиться на частоту первой гармоники надо максимально точно выяснить частоту n -й гармоники и затем разделить ее на n . В этом случае частота первой гармоники будет определена в n раз точнее.

4.1. Последовательно запускаются режимы «Снятие фоновой обстановки», «Обнаружение ПЭМИН».

4.2. Осуществляется переход в «Экспертный» режим. По разности частот двух соседних точек в списке сигналов ПЭМИ, которые идентифицируются как сигналы ПЭМИ или по двум точкам сигналов ПЭМИ на графиках, оценивается частота первой гармоники ПЭМИ.

4.3. Уничтожаются все обнаруженные сигналы в списке. С помощью кнопки **Панель управления прибором** открывается одноименная панель.

4.4. Проанализировав графики электромагнитной обстановки с тестом и без него, находится хорошо различимая гармоника тестового сигнала, имеющая четко выраженный максимум.

4.5. Используя средства панели управления прибором, максимально точно производится настройка на частоту найденного сигнала следующим образом: запускается анализатор на циклические измерения (убирается галочка в поле Ручной запуск); производится настройка на частоту хорошо различимого сигнала ПЭМИ (рис.8); уменьшается полоса обзора в 10 раз (значение полосы обзора в поле **П. ОБЗ.(МГц)** панели управления прибором уменьшается в 10 раз), на рис. 9 видно, что сигнал стал отображаться более детально, и стала видна отстройка его вершины от центральной частоты.



Рис. 8

Двукратное нажатие левой кнопкой мышки на максимуме спектра сигнала на верхнем графике приводит к перестройке прибора на частоту центра спектра сигнала рис. 10; далее уменьшается полоса пропускания, и повторяются аналогичные действия, на рис. 11 показано соответственно картина сигнала после перехода на полосу 1кГц; после того, как сигнал «отцентрирован» при полосе пропускания 1 кГц, можно говорить о том, что частота данного сигнала определена с точностью до 1 кГц.

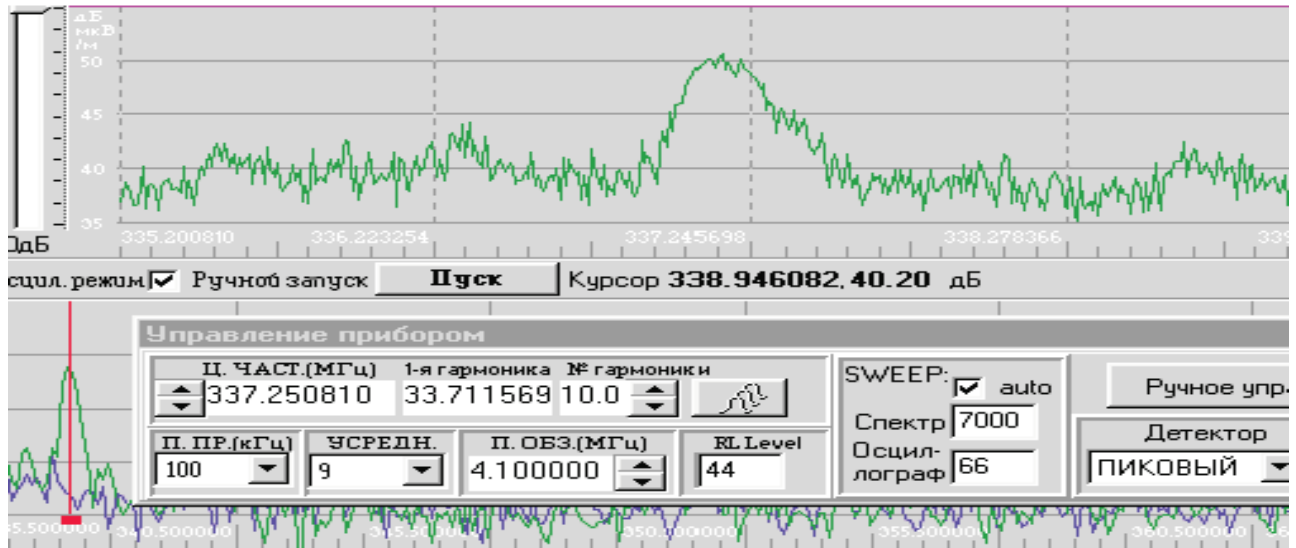


Рис. 9



Рис. 10

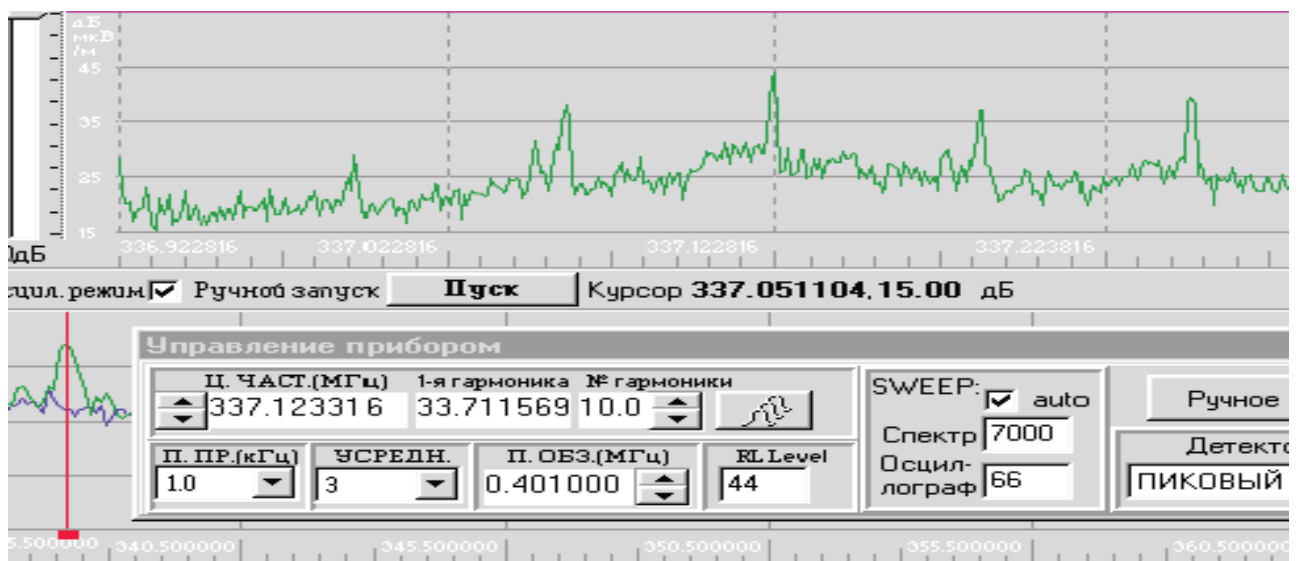

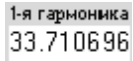



Рис. 11

4.6. Нажимается кнопка  панели управления прибором. В раскрывшемся диалоговом окне подбирается номер такой гармоника, чтобы частота первой гармоники попала в оцененный ранее диапазон. После этих действий, в поле  отображается частота первой гармоники. Далее, с помощью кнопки  производится настройка на частоты любых гармоник и их исследование. При перестройке на следующую гармонику находится та полоса пропускания, при которой картина демодулированного тестового сигнала в осциллографическом режиме будет максимально четкой.

4.7. Заносятся результаты измерения сигнала ПЭМИ в список следующими способами:

-с использованием кнопки ;

-либо с использованием кнопки .


В процессе работы периодически подстраивается частота первой гармоники по сигналам более высоких найденных гармоник. Для этого повторяются действия п.п.1.4.5, 1.4.6.

5. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ монитора параметрическо-корреляционным методом.

Параметрическо-корреляционный метод используется только для поиска сигналов ПЭМИ мониторов. Существует два варианта использования данного метода:

- поиск по уже сформированному списку сигналов;
- поиск без списка сигналов.

5.1. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ с предварительным их измерением.

Данный метод используется для поиска всего ряда частот гармоник по предварительно найденному одному или нескольким сигналам. Для этого предварительно формируется список сигналов любым из вышеперечисленных методов. Далее в "Экспертном" режиме нажимается кнопка . В раскрывающемся диалоговом окне рис.12 выбираются условия дальнейшей работы:

- «Проверка всех сигналов в списке и поиск гармоник»; данная операция повторяет весь цикл работы, но только с текущим списком частот;

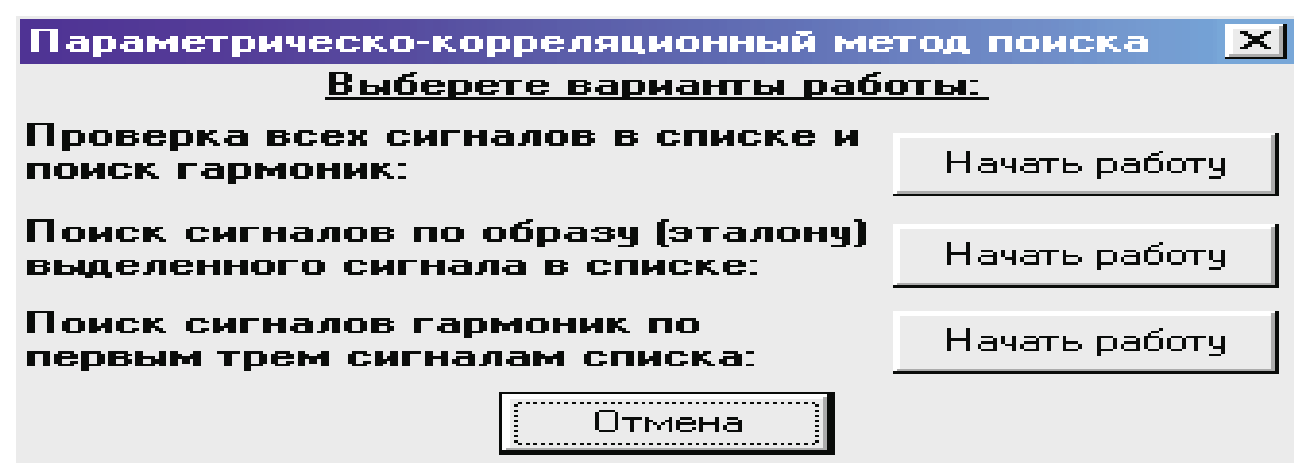



Рис. 12

- «Поиск сигналов по образцу (эталону) выделенного сигнала в списке»; данная операция применяется в том случае, когда найден один сигнал ПЭМИ, а остальные сигналы (ряд сигналов гармоник) ищутся по его параметрическому портрету;

- «Поиск сигналов гармоник по первым трем сигналам списка»; в данном случае используются первые три сигнала ПЭМИ и по ним определяется весь ряд частот гармоник.

5.2. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ без предварительного их измерения.

Для начала работы без предварительно найденного списка сигналов нажимается кнопка , расположенная на строке управления. После нажатия на данную кнопку на экране отобразится информационное окно рис. 13.

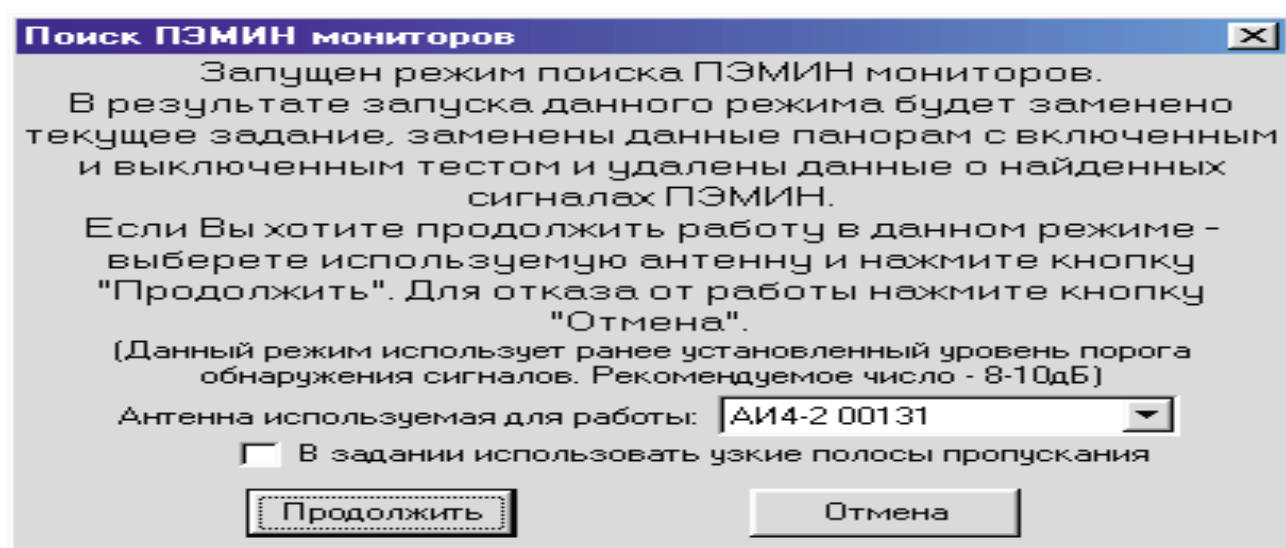


Рис. 13

В данном окне говорится, что следующим шагом работы программы будет формирование нового задания на поиск сигналов ПЭМИ со следующими параметрами:

- пункт задания 1: частотный диапазон 10-100 МГц, полоса пропускания – 30 кГц, время SWEEP – 90 мс, количество усреднений – 15 (используется усреднение всех 15 графиков);

- пункт задания 2: частотный диапазон 100-1000 МГц, полоса пропускания – 100 кГц, время SWEEP – 40 мс, количество усреднений – 15 (используется усреднение всех 15 графиков).

Если выбрать опцию В задании использовать узкие полосы пропускания, то поиск будет вестись более узкими полосами пропускания, что несколько увеличивает время работы, но позволяет находить более слабые сигналы:

- пункт задания 1: частотный диапазон 10-150 МГц, полоса пропускания – 10 кГц, время SWEEP – 90 мс, количество усреднений – 15 (используется усреднение всех 15 графиков);

- пункт задания 2: частотный диапазон 150-1000 МГц, полоса пропускания – 100 кГц, время SWEEP – 40 мс, количество усреднений – 15 (используется усреднение всех 15 графиков).

Поле предназначено для выбора антенны, которая будет использоваться в задании.

После нажатия на кнопку производится измерение панорамы электромагнитной обстановки с выключенным и включенным тестовым сигналом (программа попросит оператора первый раз выключить тест, а второй раз включить его). После проведения этих двух операций будет сформирован список сигналов методом разности панорам. Для формирования списка сигналов используется заранее установленный порог (подпункт меню «Установить порог» пункта меню «Установки»). После того, как сканирование с включенным тестом закончено, программа переходит в «Экспертный» режим работы и тестирует все сигналы полученного списка. Для каждого сигнала списка уточняется частота и строится его параметрический портрет на разных полосах пропускания. Каждый параметрический портрет сравнивается с известным портретом сигнала монитора с учетом неизвестного на данном шаге разрешения монитора (частоты первой гармоники). Действия программы отображаются в окне, показанном на рис. 14.

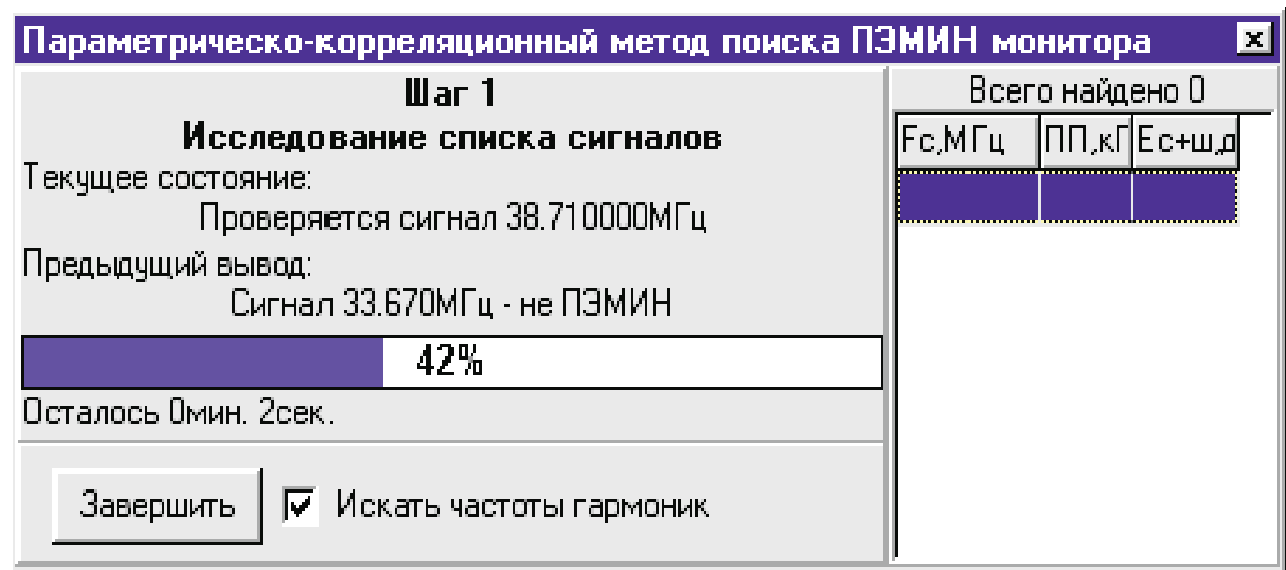


Рис. 14

В данном окне отображается следующая информация: список подозрительных сигналов, частота текущего исследуемого сигнала, вывод по предыдущему тестируемому сигналу, процент выполненной работы, ориентировочное время до окончания первого этапа работы.

После тестирования всех сигналов в списке программа сравнивает портреты всех сигналов между собой и убирает из списка ложные сигналы.

Далее программа переходит ко второму этапу работы (второму шагу) – поиску гармоник рис. 15.

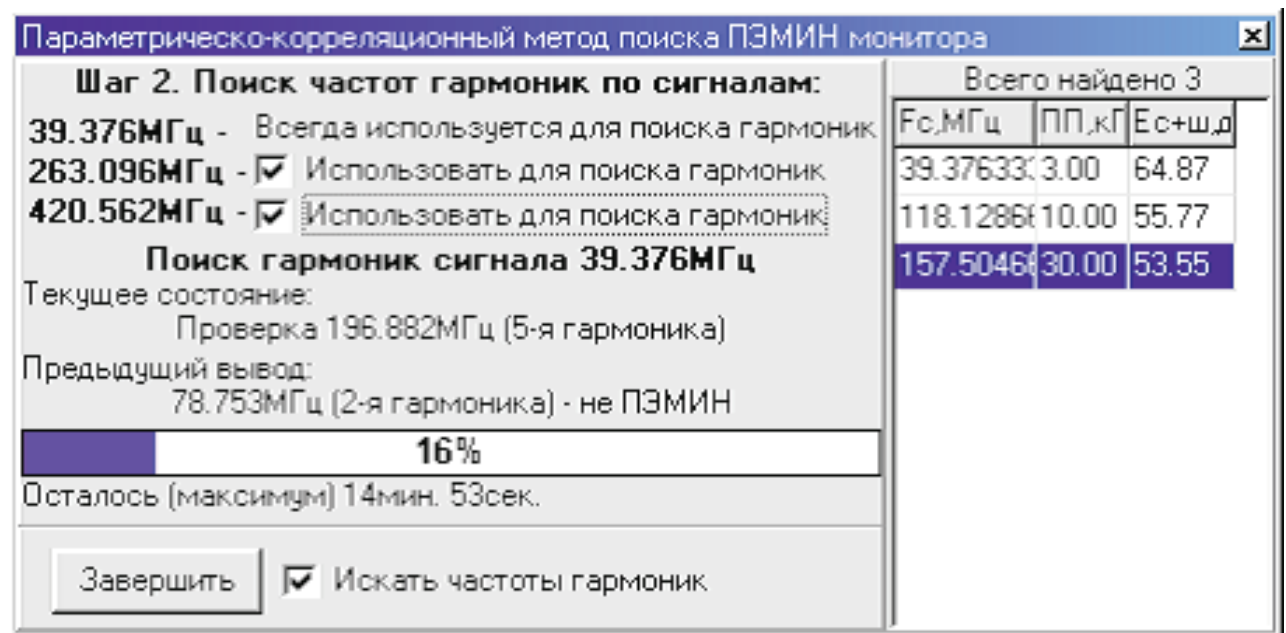


Рис. 15

Для поиска гармоник программа использует первые три сигнала из списка предварительно обнаруженных данным методом. Если 2-й и 3-й сигнал укладываются в ряд гармоник по отношению к первому, то программа анализирует гармоники только первого сигнала. Если первые три сигнала не являются взаимными частотами гармоник, то в данном случае предполагается, что среди первых трех частот существуют сигналы паразитной генерации, и ряд гармоник ищется для каждого сигнала. Данный поиск можно отменить, если убрать галочки в полях напротив найденных частот ПЭМИ в поле "Использовать для поиска гармоник".


Процесс настройки на частоту гармоники и подстройки частоты первой гармоники осуществляется по алгоритму экспертного метода поиска, но только в автоматическом режиме. То есть, находятся все частоты гармоник, которые можно найти, используя оптимальные условия приема (точная настройка, подстройка частоты первой гармоники и выбор оптимальной полосы пропускания).

После поиска и измерения гармоник в частотном диапазоне от 10 до 1000 МГц двукратным нажатием кнопки «Завершить» заканчивается данный процесс и осуществляется переход к расчетной программе.

6. Работа с расчетной программой Navigat.exe.

Расчетная программа определяет зоны разведдоступности, отношение сигнал/шум на границе контролируемой зоны, требуемую защищенность цепей электропитания и заземления. При проведении расчетов можно использовать как стандартные параметры затухания сигналов в эфире и проводных линиях, так и реально измеренные. Также при проведении расчетов можно использовать параметры активных и пассивных средств защиты. Результаты расчета соответствуют действующим нормативно-методическим документам.

Протокол расчета может формироваться как в текстовом редакторе Microsoft Word Office 2000, так и во внутреннем редакторе программы.

Расчетная программа Navigat.exe запускается нажатием кнопки . Она формирует протокол измерений после нажатия на кнопку «Расчет».

При несоответствии полученных результатов расчета нормативным данным производится весь комплекс измерений и расчетов с использованием генератора шума ЛГШ-501.

Содержание отчёта

1. Краткая характеристика методов измерения ПЭМИН, реализованных в программе «Навигатор».
2. Результаты измерений, протоколы.
3. Анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Назначение и состав программно-аппаратного комплекса «НАВИГАТОР-ПЗГ».
2. Методы поиска сигналов ПЭМИ, реализованные в программе «Навигатор».
3. Как осуществляется предварительная настройка комплекса?
4. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ монитора методом разности панорам.
5. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ монитора экспертным методом.
6. Поиск и измерение сигналов ПЭМИ монитора параметрическо-корреляционным методом.
7. Как осуществляется подготовка комплекса к проведению расчетов и формированию протокола по результатам измерений?
8. Что производится при несоответствии полученных данных измерений и расчетов нормативным данным?

Литература

1. Зайцев А.П., Шелупанов А.А., Мещеряков Р.В., Скрыль С.В., Голубятников И.В. Технические средства и методы защиты информации. М.: Машиностроение. 2009.
2. Торокин А.А. Инженерно-техническая защита информации. М.: Гелиос АРВ, 2005.
3. Электронные версии технических описаний используемого оборудования.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа №1. Исследование параметров технической эксплуатации ТС СЗИ	3
2. Лабораторная работа №2. Исследование процессов управления состоянием СЗИ при техническом обслуживании	10
3. Лабораторная работа №3. Изучение полумарковской модели процесса технической эксплуатации СЗИ.....	17
4. Лабораторная работа №4. Определение оптимального момента замены функциональных узлов средств защиты информации при использовании стратегии ТОС.....	30
5. Лабораторная работа №5. Определение экономически целесообразного времени эксплуатации СЗИ.....	35
6. Лабораторная работа №6. Контроль эффективности защиты речевой информации по акустическому каналу с помощью программно-аппаратного комплекса (ПАК) «СПРУТ-МИНИ»	38
7. Лабораторная работа №7. Контроль эффективности защиты информации в средствах вычислительной техники от утечки через побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ) с помощью ПАК«НАВИГАТОР –ПЗГ».....	53