

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТАГАНРОГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

В.В. Байлов
В.С. Плаксиенко

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ И СЕРВИС РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ
СИСТЕМ**

Учебное пособие

Таганрог 2002

УДК 621.396.6(075.8)

Байлов В.В., Плаксиенко В.С. Эксплуатация и сервис радиоэлектронных систем: Учебное пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. 90 с.

В учебном пособии рассматриваются вопросы эксплуатации и сервиса радиоэлектронной аппаратуры, содержатся материалы по теоретическим и практическим вопросам анализа её эксплуатационно-технических показателей, методов повышения надёжности, контроля параметров и испытаний по их оценке, поиску неисправных элементов, основам технического обслуживания и комплектации аппаратуры ЗИПом, а также по организации техобслуживания, эффективности и экономичности эксплуатации РЭС, в том числе и бытовой радиоэлектронной аппаратуры.

Предназначено для студентов безотрывной формы обучения специальности «Радиотехника». Может быть полезно студентам дневной формы обучения

Табл. 31. Ил. 20. Библиогр.: 20 назв.

Рецензенты:

А.В. Володин – доктор технических наук, старший научный сотрудник, член-корр. АИН им. Прохорова А.М., ведущий научный сотрудник ФГУП «ВНИИ «ГРАДИЕНТ»

Г.Н. Орлов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, член-корр. МАИ, советник администрации ФГУП ТНИИС.

©Таганрогский государственный
радиотехнический университет, 2002

©В.В. Байлов, 2002
©В.С. Плаксиенко, 2002

1. Общая характеристика радиоэлектронных систем

1.1. Основные положения и определения

Радиоэлектронные системы (РЭС) предназначены для передачи и приема информации. Различают РЭС специального назначения и бытовую радиоэлектронную аппаратуру (РЭА). В различных видах спецтехники и бытовой техники от магнитофона и телевизора до компьютера, в технике связи и передачи информации, автоматизации и управления (производство, судо и самолетостроение, робототехника, космонавтика и т.д.) применяют РЭА. В создании и производстве РЭА занято большое количество ученых, инженеров, рабочих. Не меньшее число рабочих и ИТР участвуют в эксплуатации аппаратуры. Несмотря на огромное разнообразие РЭС различного назначения элементной базы, конструктивного исполнения и стоимости они имеют ряд общих признаков, причисляющих их к классу кибернетических систем. К числу основных признаков относят:

- использование электромагнитных колебаний в качестве носителя информации;
- наличие организованной структуры;
- относительная автономность систем;
- динамика их развития и изменения в пределах жизненного цикла;
- потребность в функциональном управлении состоянием, включая поддержание этих состояний в универсальных пределах, т.е. потребность в техническом обслуживании (ТО) и ремонте.

Развитие РЭС происходит по определенным направлениям, основные из которых – расширение диапазона частот, повышение сложности систем, комплексирование, микроминиатюризация, применение цифровых методов передачи и обработки информации.

Организация, сложность и динамичность изменения состояния РЭС характеризуются иерархией структуры, наличием критерия качества, процессами развития и деградации, связями с внешней средой, наличием обратных связей и замкнутых цепей воздействия, исполнительных и управляющих органов, использованием информации управления. Рассматривая РЭС в этом аспекте, необходимо выделить в их жизненном цикле основную стадию – эксплуатацию. Здесь реализуется, поддерживается и восстанавливается качество системы.

Любая система деградирует под воздействием внешней среды и внутренних процессов старения, ухудшаются показатели ее качества, ее функциональные возможности. Однако в большинстве систем возможны процессы, направленные на поддержание их работоспособности путем направленных управляющих воздействий, т.е. для поддержания РЭС в исправном состоянии. Надо не только знать и владеть ей, но и уметь проводить ее эксплуатацию на научных основах. При разработке основ эксплуатации должны решаться следующие задачи:

- обоснование объема и содержания работ и мероприятий, проводимых на различных этапах ее эксплуатации;
- разработка методов организации труда обслуживающего персонала и технологии различных видов работ в процессе эксплуатации;
- определение состава эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) и показателей, характеризующих качество эксплуатации;
- разработка критериев и методов количественной оценки ЭТХ;
- изучение и анализ факторов, влияющих на качество эксплуатации и ЭТХ, а также разработка рекомендаций по улучшению ЭТХ;
- разработка основ автоматизации процесса эксплуатации;
- исследование экономических проблем эксплуатации и внедрение результатов этих исследований в практику эксплуатации.

Под эксплуатацией понимается совокупность работ и мероприятий для поддержки РЭС в постоянной технической исправности.

Процесс эксплуатации состоит из ряда основных этапов: хранение, транспортирование, подготовка к применению, применение по назначению, техобслуживание и ремонт.

Условия эксплуатации - совокупность факторов, действующих на РЭА в процессе эксплуатации. К ним относятся: механоклиматические условия, электрические нагрузки, электромагнитные излучения, квалификация обслуживающего персонала (ОП), обеспеченность запчастями.

Под хранением понимается содержание РЭА в технически исправном состоянии в течение установленного срока до реализации.

Транспортирование - перевозка РЭА в условиях, обеспечивающих сохранение ее работоспособности.

Подготовка РЭА к применению - совокупность работ по подготовке аппаратуры к нормальному функционированию в соответствии с ее назначением и техническими условиями (ТУ).

Применение РЭА по назначению – совокупность работ, обеспечивающих нормальное функционирование аппаратуры в соответствии ТУ.

Техобслуживание – комплекс работ для поддержания РЭА в исправном или работоспособном состоянии при подготовке и применении по назначению, хранении и транспортировании.

Ремонт - комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности аппаратуры.

Виды ремонта - плановый и внеплановый.

Первый осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технических документов (НТД), второй - без предварительного назначения.

Ремонтные работы делятся на текущие, средние и капитальные. Первый выполняется для обеспечения или восстановления работоспособности, второй – для восстановления неисправности в объеме НТД, третий – для восстановления ресурса РЭА с заменой отдельных частей.

Эксплуатация бытовой РЭА имеет некоторые особенности и включает предпродажную подготовку, установку и регулировку аппаратуры после

покупки на дому у владельца. Другая ее особенность – аппаратуру в период между ТО и ремонтами эксплуатирует сам потребитель. Указанные обстоятельства требуют создания специальных ремонтно-обслуживающих (сервисных) центров.

1.2. Задачи эксплуатации

Задачами эксплуатации являются организация и проведение мероприятий, обеспечивающих подготовку к использованию по назначению и поддержание исправного состояния.

Под эксплуатационными свойствами РЭА понимают ее надежность, готовность к выполнению основных функций, приспособленность к выполнению основных функций, приспособленность к техническому обслуживанию (ТО), экономичность.

Рассмотрим эти свойства.

Надежность - свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения эксплуатационных показателей в заданных пределах.

Готовность - свойство объекта, характеризующее его приспособленность к переводу из любого исходного состояния в состояние применения по назначению.

Приспособленность к техническому обслуживанию (ТО) - свойство аппаратуры выполнять стоящие перед ней задачи при проведении ТО заданной продолжительности и периодичности.

Экономичность – свойство, характеризующее затраты, связанные с эксплуатацией РЭА.

Надежность включает безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность.

Безотказность - свойство объекта сохранять работоспособность в течение некоторого заданного времени. При этом под работоспособностью понимают такое состояние аппаратуры, при котором выполняются заданные функции в пределах норм НТД. Более широким понятием, характеризующим техническое состояние аппаратуры, является понятие «исправность», под которым понимается соответствие всем требованиям НТД, т.е. «исправность» - понятие более широкое, чем работоспособность.

Переход РЭА из одного состояния в другое называют событием. Событие, сопровождающееся потерей работоспособности, называют отказом. Они подразделяются:

- 1) по характеру изменения – на внезапные и постепенные;
- 2) по взаимосвязи между собой – на зависимые и независимые;
- 3) по характеру времени нарушения работоспособности – на сбои и перемежающиеся;
- 4) по наличию внешних признаков – на явные и не явные;
- 5) по причинам возникновения – на конструктивные и эксплуатационные.

Под ремонтпригодностью понимают свойства РЭА, заключающиеся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения ее отказов и восстановлению работоспособного состояния путем проведения ТО и ремонтов.

Сохраняемость – свойство РЭА сохранять исправное состояние в течение и после хранения, транспортирования.

Долговечность – свойство РЭА сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонтов.

Предельное состояние – состояние, при котором дальнейшая эксплуатация РЭА должна быть прекращена.

В дополнение к сказанному о важности научных основ эксплуатации следует отметить следующие факторы:

- жизненный цикл (ЖЦ) аппаратуры;
- закон Парето.

Первый фактор учитывается на стадиях исследования и проектирования, изготовления, испытаний, а также при хранении, транспортировании. Типовое распределение стадий и этапов ЖЦ показано на рис. 1.1.

Техническое предложение	ТЗ	Технический проект	РП	Изготовление	Испытание	Серийное изготовление	Хранение	Транспортирование	Функциональное назначение	Техническое обслуживание	Утилизация
-------------------------	----	--------------------	----	--------------	-----------	-----------------------	----------	-------------------	---------------------------	--------------------------	------------

Рис. 1.1

Второй фактор – признан всем миром и показывает, что изготовители получают 20% всех денег от всех стадий ЖЦ, а операторы – 80%, что естественно показывает важность изучения основ технической эксплуатации и сервиса РЭС.

2. Эксплуатационно-технические показатели

Рассмотренные ранее понятия и определения являются качественными характеристиками. Для количественного выражения надежности, готовности, экономичности используются следующие эксплуатационно-технические показатели (ЭТП):

1) показатели безотказности:

а) для неремонтируемых изделий:

- вероятность безотказной работы $P(t)$,

- частота отказов $f(t)$,
 - средняя наработка на отказ T_{CP} ;
- б) для ремонтируемых изделий:
- вероятность безотказной работы $P(t)$,
 - параметр потока отказов $\omega(t)$,
 - средняя наработка на отказ T_o ;
- 2) показатели ремонтпригодности:
- средняя продолжительность текущего ремонта T_p ;
 - средняя продолжительность техобслуживания T_{TO} ;
- 3) показатели долговечности:
- а) для неремонтируемых изделий:
- средний срок службы $T_{СЛ}$;
 - средний срок службы до списания $T_{СП}$;
 - гамма - процентный срок службы $T_{сл\gamma}$;
 - средний ресурс R_{CP} ;
 - назначенный ресурс R_H ;
 - гамма – процентный ресурс R_γ ;
- б) для ремонтируемых изделий:
- средний срок службы $T_{СЛ}$;
 - средний срок службы до списания $T_{СП}$;
 - гамма - процентный срок службы $T_{сл\gamma}$;
 - средний срок службы до капитального ремонта (среднего ремонта) $T_{СЛК}$ ($T_{СЛср}$);
 - средний срок службы между капитальными (средними) ремонтами $T_{СЛмк}$, ($T_{СЛмср}$);
 - средний ресурс R_{CP} ;
 - назначенный ресурс R_H ;
 - гамма – процентный ресурс R_γ ;
 - средний ресурс до капитального (среднего) ремонта R_K (R_{CP});
 - средний ресурс между капитальными (средними) ремонтами $R_{мк}$ $R_{МСР}$,
 - средний ресурс до списания $R_{СП}$;
- 4) показатели сохраняемости:
- средний срок сохраняемости T_C ,
 - гамма – процентный срок сохраняемости $T_{C\gamma}$;
- 5) показатели готовности:
- коэффициент готовности K_G ,
 - коэффициент оперативной готовности K_{OG} ,
 - коэффициент технического использования $K_{ТИ}$;

б) эксплуатационно-экономические показатели:

- средняя трудоемкость текущего ремонта $S_{ТР}$,
- средняя трудоемкость ТО $S_{ТО}$,
- коэффициент эффективности профилактики $K_{эфт}$,
- коэффициент стоимости эксплуатации $K_{стэ}$.

Возникновение отказов в РЭА зависит от различных факторов, определяемых внутренними и внешними условиями. Это приводит к тому, что процесс возникновения отказов носит случайный характер, поэтому для количественной оценки характеристик аппаратуры используются вероятностные методы. Здесь под случайной подразумевается величина, принимающая в результате опыта значение, которое предугадать невозможно.

2.1. Основные понятия теории вероятности и массового обслуживания

Все случайные величины делятся на непрерывные и дискретные (первые – время безотказной работы, значение того или иного параметра, вторые – число отказов, число неисправных устройств и т.д.). Вы знаете, что событием считается любой факт, который может быть или не быть. Для количественного сравнения событий между собой используется понятие вероятности события. Если последняя не меняется от того, произошло или нет другое событие, то такие события называют независимыми. Если появление события зависит от того, произошло или нет другое событие, то такие события считаются зависимыми. События бывают несовместные, если они не могут появиться вместе. События, у которых вероятность равна 1, есть достоверные. На основе указанных понятий вспомним основные теоремы теории вероятностей, используемые при решении задач надежности.

2.2. Теоремы сложения и умножения вероятностей

1) вероятность суммы n несовместных событий равна сумме n вероятностей этих событий

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A_i);$$

2) вероятность произведения независимых событий равна произведению вероятностей этих событий

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i).$$

На основании указанных двух теорем формулируется теорема полной вероятности:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P(A/H_i), \quad (2.1)$$

где A - событие, которое может произойти вместе с одним из событий H_1, H_2, \dots, H_n .

Из формулы (2.1) следует, что вероятность события A вычисляется как сумма произведений вероятности каждой гипотезы на вероятность события при этой гипотезе.

Рассмотрим примеры:

Пример 2.1. На складе 100 приборов, из них 50 - исправные, 30 - не имеют отказов и 20 - отказавших. Найти вероятность того, что взятый наугад прибор будет работоспособен.

Если принять: A - выбор работоспособного прибора, A_1 - исправного и A_2 - безотказных, то

$$P(A) = P(A_2) + P(A_1) = 0,5 + 0,3 = 0,8.$$

Пример 2.2. Каждое выпускаемое на заводе изделие может иметь дефект (вероятность дефекта $P_D = 0,95$). Оно осматривается двумя контролерами, из которых первый обнаруживает дефект с вероятностью $P_1 = 0,8$, а второй — $P_2 = 0,9$. Найти вероятность того, что изделие будет забраковано.

Если принять: A - дефект обнаружен, A_1 - первым и A_2 - вторым контролером, то

$$A = A_1 A_2 + A_1 \bar{A}_2 + \bar{A}_1 A_2,$$

где \bar{A}_1, \bar{A}_2 - не обнаружение дефекта первым и вторым контролерами.

Тогда на основании теоремы полной вероятности получим

$$\begin{aligned} P(A) &= P_D [(A_1 \cdot A_2) + P(A_1 \cdot \bar{A}_2) + P(\bar{A}_1 + A_2)] = \\ &= 0,95 [0,8 \cdot 0,9 + 0,8 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,9] = 0,931. \end{aligned}$$

Процесс возникновения отказов в РЭА, организация и проведение ее ремонта, снабжение запчастями описываются методами теории массового обслуживания (МО). Последней называется система, состоящая из определенного числа обслуживающих единиц, называемых каналами обслуживания. Системы МО могут быть одноканальными и многоканальными. Основные элементы системы:

- поток событий;
- число каналов;
- быстродействие каждого канала.

Поток событий - простейший, если он обладает свойствами ординарности, стационарности и отсутствием последствия. первое означает, что вероятность одновременного появления 2-х событий практически невозможна, второе - вероятность попадания того или иного события на участок времени длиной $t + \Delta t$ не зависит от t , а зависит от длины участка Δt . Отсутствие последствия заключается в том, что для двух отрезков времени Δt_2 и Δt_1 число событий, попадающих в один из них, не зависит от числа событий, попадающих в другой.

Мы будем рассматривать только простейшие потоки. Одной из важных характеристик системы МО является среднее время обслуживания одной заявки \bar{T}_{OB} . На практике наибольшее распространение находит случай, когда \bar{T}_{OB} имеет экспоненциальное распределение, т.е.

$$f(t) = \nu_{OB} \cdot e^{-\nu_{OB}t}, \quad (2.2)$$

где $\nu_{OB} = \frac{1}{T_{OB}}$ - величина, обратная среднему времени обслуживания одной заявки;

$f(t)$ – плотность распределения функции распределения – универсальной характеристики распределения вида $F(x) = P(X < x)$, где $X < x$ – вероятность события, X – некоторая текущая переменная.

Системы МО делятся на системы с отказами и системы с ожиданием. В первых системах – заявка, поступившая в момент, когда все каналы обслуживания заняты, получает отказ; во вторых системах – заявка становится в очередь и ожидает, пока не освободится какой-либо канал. Процессы эксплуатации РЭА (заявки на ремонт, снабжение запасным имуществом и принадлежностями (ЗИП-ом) и т.д.) описываются теорией систем МО с ожиданием.

Пример 2.3. Имеется простейшая 2-х канальная система МО с очередью. Интенсивность потока заявок $\lambda = 3$ заявки в час. Среднее время обслуживания одной заявки $\bar{T}_{OB} = 0,5$ ч. Найти вероятности состояний P_0, P_1, P_2 , вероятность наличия очереди $P_{Oч}$, среднюю длину очереди $M_{Oч}$ и среднее время пребывания заявки в очереди $t_{Oч}$.

Имеем число заявок $\alpha_3 = \lambda \bar{T}_{OB} = 3 \cdot 0,5 = 1,5$. При этом число каналов $n = 2$, т.к. $\alpha_3 < n$, то режим установившийся. Из [9] для расчета вероятностей состояния системы при $\alpha_3 < n$ воспользуемся формулой:

$$P_k = \frac{\alpha_3^k}{K!} / \left(\sum_{k=0}^n \frac{\alpha_3^k}{K!} + \frac{\alpha_3^{n+1}}{n!(n-\alpha_3)} \right), \quad (2.3)$$

где K – число состояний системы ($0 \leq k \leq n$).

Подставляя в формулу (2.3) численные значения, получим:

$$P_0 = 1 / 7 = 0,142,$$

$$P_1 = 1,5 / 7 = 0,214,$$

$$P_2 = 1,125 / 7 = 0,16.$$

Тогда вероятность наличия очереди:

$$P_{Oч} = 1 - (P_0 + P_1 + P_2) = 1 - (0,142 + 0,214 + 0,16) = 0,484.$$

Средняя длина очереди, т.е. среднее число заявок, находящихся в очереди:

$$M_{Oч} = \frac{\alpha_3^{n+1}}{n \cdot n!(1 - \alpha_3/n)} / \left(\sum_{k=0}^n \frac{\alpha_3^k}{K!} + \frac{\alpha_3^{n+1}}{n!(n-\alpha_3)} \right), \quad (2.4)$$

т.е.

$$M_{оч} = \frac{1,5^3}{2 - 1 \cdot 2(1 - 1,5/2)^2} / \sum_{k=0}^2 \frac{1,5^k}{k!} + \frac{1,5^3}{1 \cdot 2 \cdot 0,5} = \frac{13,5}{7} = 1,92$$

Среднее время пребывания $t_{оч} = M_{оч} / \lambda = 1,92 / 3 = 0,64$.

3. Безотказность

Под ней понимают свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторой (заданной) наработки. Ее мерой является вероятность безотказной работы $P(t)$. «Наработка» – термин, определяющий продолжительность работы изделия. Так как отказ – случайная величина, то и время появления отказа t_0 – также случайная величина ($t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0n}$ – рис. 3.1).

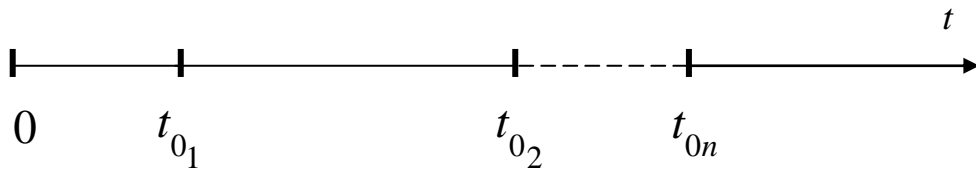


Рис. 3.1

3.1. Общие сведения о законах распределения времени безотказной работы

$P(t)$ можно представить как вероятность того, что время безотказной работы t_0 изделия больше некоторого заданного времени, т.е. $P(t) = P(t < t_0)$. Чем больше заданный промежуток времени, для которого определяется надежность, тем меньше значение безотказной работы, и наоборот.

Практически величина $P(t)$ определяется статистическим путем по информации об отказах за выбранный промежуток времени t_i , т.е.

$$\bar{P}_i = \frac{(N - n_i)}{N}, \quad (3.1)$$

где N – число изделий в начале испытаний;

n_i – число изделий, отказавших за время t_i .

При числе изделий $N \geq 20$ статистическая вероятность P_i сходится к вероятности $P(t)$.

Надежность изделия удобнее характеризовать вероятностью отказа

$$q(t) = 1 - P(t) = P(t > t_0) = P(t_0 < t), \quad (3.2)$$

т.е., $q(t)$ можно рассматривать как вероятность того, что случайная величина t_0 примет значение меньше рассматриваемого времени t . Это позволяет рассматривать $q(t)$ как функцию распределения случайной величины t_0 – времени до появления отказа, т.е. $q(t)$ – интегральный закон распределения времени безотказной работы t_0 .

Функциональные зависимости $P(t)$ и $q(t)$ даны на рис. 3.2.

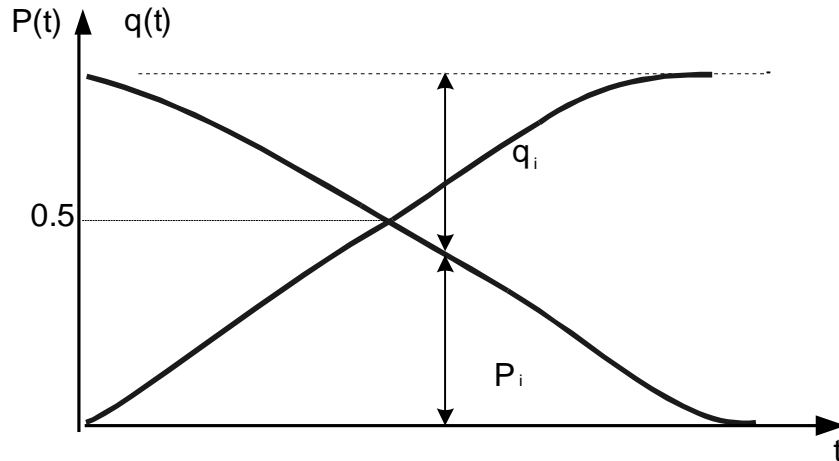


Рис. 3.2

Различают безотказность неремонтируемых и ремонтируемых изделий.

Для неремонтируемых - показателями безотказности являются:

- вероятность безотказной работы $P(t)$;
- частота отказов $f(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$;
- средняя наработка до первого отказа T_{CP} .

Для вторых характерно чередование исправного состояния и ремонта после отказа. При этом появление отказов в каждом из N изделий рассматривают как поток требований для ремонта. Здесь показатели безотказности следующие:

- вероятность безотказной работы $P(t)$;
- параметр потока отказов $\omega(t)$;
- средняя наработка на отказ $\overline{T_0}$.

Рассмотрим показатели неремонтируемых объектов.

Под частотой отказов $f(t)$ понимают число отказов в единицу времени, $ч^{-1}$, т.е.

$$\overline{f}_i = \frac{\Delta n_i}{N \cdot \Delta t_i}, \quad (3.3)$$

где n_i – число отказов в интервале времени Δt_i ;

N – число испытуемых изделий;

Δt_i – время испытаний.

Функция частоты $f(t)$ характеризует скорость снижения надежности во времени и является плотностью распределения времени безотказной ра-

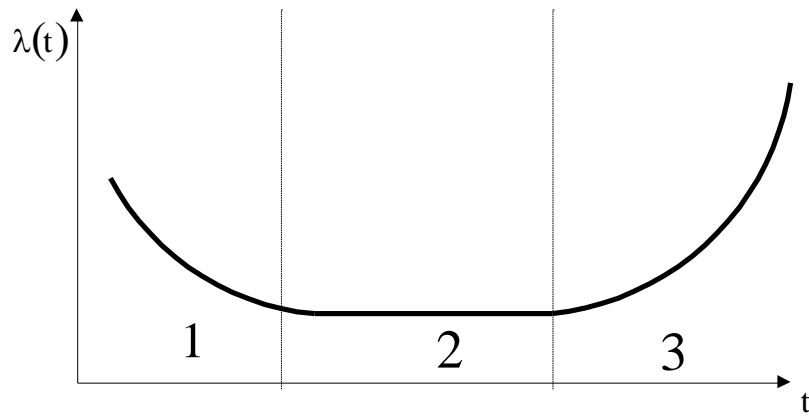


Рис. 3.3

Пример 3.1. На испытание поставлено 500 изделий. За время $t = 2000$ ч отказало $n = 200$ изделий. За последующие $t_i = 100$ ч – ещё 100 изделий. Определить $\bar{P}(2000)$, $\bar{P}(2100)$, $\bar{f}(2050)$ и $\bar{\lambda}(2050)$

Решение

$$\bar{P}(2000) = \frac{N - n(2000)}{N} = \frac{500 - 200}{500} = 0.6;$$

$$\bar{P}(2100) = \frac{500 - 300}{500} = 0.4;$$

$$\bar{f}(2050) = \frac{\Delta n_i}{N \Delta t_i} = \frac{100}{500 \cdot 600} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1};$$

$$\bar{\lambda}(2050) = \frac{\Delta n_i}{N_{\text{ср}} \cdot \Delta t_i} = \frac{100}{(1300 + 200) \cdot 2 \cdot 100} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1};$$

ИЛИ

$$\bar{\lambda}(2050) = \bar{f}_i / \bar{P}_i = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{\frac{500 - 250}{500}} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

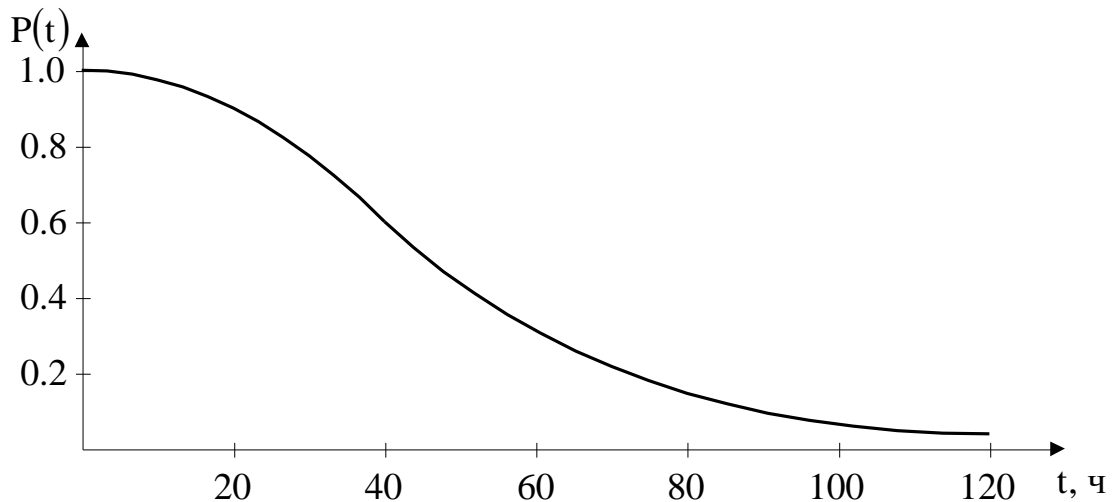


Рис. 3.4

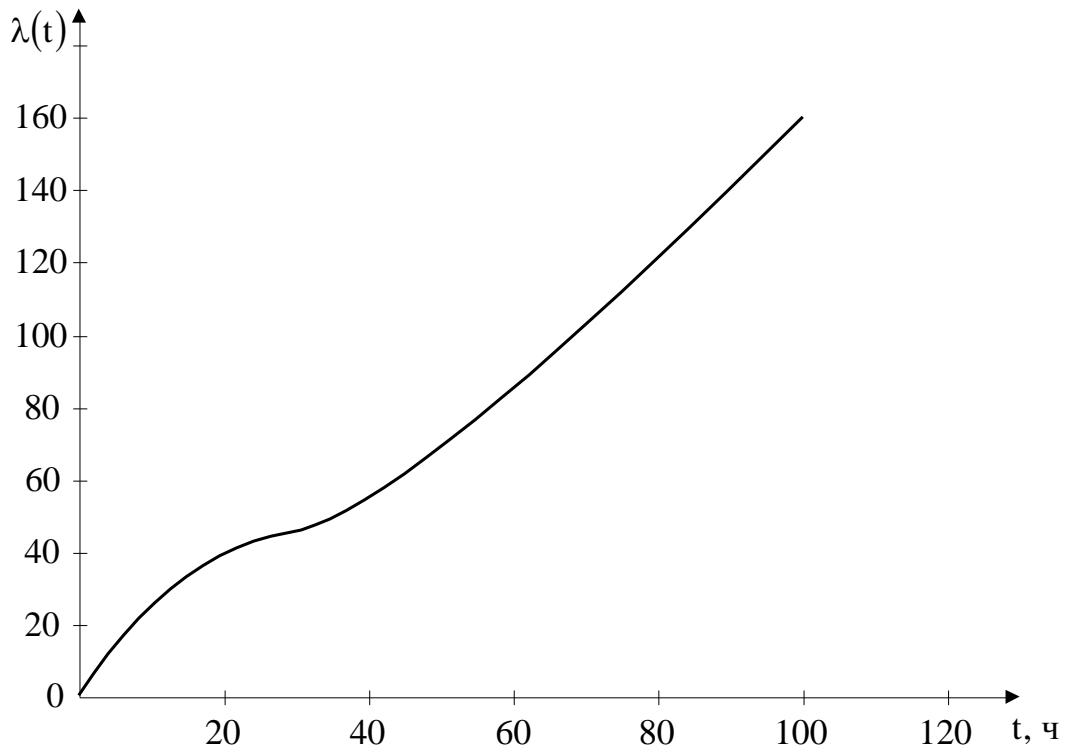


Рис. 3.5

Средней наработкой до первого отказа T_{CP} называется матожидание времени работы до первого отказа, т.е. в общем виде

$$T_{CP} = \int_0^{\infty} P(t) dt . \quad (3.6)$$

Или по данным испытаний однотипных элементов

$$\bar{T}_{CP} = \sum_{i=1}^N t_i / N , \quad (3.7)$$

где t_i – время исправной работы i – го элемента;

N – общее число испытываемых элементов;

Практически же знать время продолжительности исправной работы t_i всех элементов не представляется возможным.

$$\text{Тогда } \bar{T}_{CP} = \left(\sum_{i=1}^m \Delta n_i \cdot t_{CP_i} \right) / N , \quad (3.8)$$

где Δn_i – число исправных элементов за время $\Delta t = t_{i+1} - t_i$,

где t_i – время в начале i -го интервала, t_{i+1} – время в конце i -го интервала.

(При этом $t_{CP_i} = (t_i + t_{i+1})/2$ и $m = t_N / \Delta t$, где t_N – время, в течение которого отказали все элементы).

Пример 3.2. На испытании $N=1000$ изделий число отказов Δn_i фиксировалось через каждые 100 ч работы ($\Delta t = 100$ ч). Данные об отказах даны в табл. 3.1.

Таблица 3.1

$t_i, ч$	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-600
Δn_i	50	40	32	25	20	16
$t_i, ч$	600-700	700-800	800-900	900-1000	-	-
Δn_i	15	14	15	14	-	-

Найти $\bar{P}(1000)$, $\bar{\lambda}(950)$, и \bar{T}_{CP} .

$$\bar{P}(1000) = \frac{1000 - 241}{1000} = 0,759 ,$$

$$\bar{\lambda}(950) = \frac{14}{100(773 + 759)/2} = 0,182 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} ,$$

$$\bar{T}_{CP} = \left(\sum_{i=1}^m \Delta n_i \cdot t_{CP_i} \right) / N; \quad \text{где } m = \frac{1000}{10} = 100.$$

Общее число отказавших элементов $N_0 = 241$, поэтому при расчёте \bar{T}_{CP} будем считать, что на испытаниях находились только элементы, которые отказали.

Тогда

$$\bar{T}_{CP} = \frac{50 \cdot 50 + 40 \cdot 150 + 32 \cdot 250 + 25 \cdot 350 + 20 \cdot 400 + \dots + 14 \cdot 950}{241} = 371 \text{ ч}.$$

3.2. Показатели ремонтируемых изделий

Параметр потока отказов (среднее число отказов за время рассматриваемого потока)

$$\bar{\omega} = \Delta n_i / N \cdot \Delta t . \quad (3.9)$$

В сложном изделии результирующий поток отказов равен сумме потоков отказов отдельных устройств, т.е.

$$\omega_N = \sum_{i=1}^N \omega_i . \quad (3.10)$$

Основным типом потока отказов РЭА при эксплуатации является простейший, т.е. удовлетворяющий условиям ординарности, стационарности и отсутствия последействия.

Здесь удобным критерием надёжности является среднее число часов работы между двумя отказами, обычно называемое наработкой на отказ \bar{T}_0 .

Значения рассмотренных показателей могут быть найдены по результатам обработки статического материала, полученного в ходе эксплуатации или проведении испытаний на надёжность.

Если РЭА проработала суммарное время t_Σ и имела при этом n отказов в работе, то наработка на отказ

$$\bar{T}_0 = t_\Sigma / n . \quad (3.11)$$

Если испытаниям подвергаются N однотипных изделий, то необходимо суммировать время исправной работы по всем изделиям и делить его на общее число отказов

$$\bar{T}_0 = \sum_{i=1}^N t_i / \sum_{i=1}^N n_i .$$

Пример 3.3. Приемник к началу наблюдения за отказами проработал 470ч. К концу наблюдения наработка на отказ составила 18500ч, зарегистрировано 15 отказов. Найти среднюю наработку на отказ.

Определяем суммарное время работы (в часах)

$$t_\Sigma = 18500 - 470 = 18030$$

и, следовательно, $\bar{T}_0 = t_\Sigma / n_\Sigma = 18030 / 15 = 1202$.

Пример 3.4. Наблюдение велось за 3-мя экземплярами изделий. При этом зафиксировано: по 1-му – 6, по 2-му – 10 и 3-му экземпляру – 7 отказов. Нарботка 1-го экземпляра составила 4800ч, 2-го – 6260ч и 3-го – 5500ч. Найти наработку аппаратуры на отказ.

Находим суммарную наработку

$$t_\Sigma = 4800 + 6260 + 5500 = 16560ч .$$

Определяем суммарное число отказов

$$n = 6 + 10 + 7 = 23 .$$

Находим среднюю наработку на отказ, ч

$$\bar{T}_0 = t_\Sigma / n_\Sigma = 16560 / 23 = 720 .$$

Так как процесс возникновения отказов в РЭА носит случайный характер, то время безотказной работы — случайная величина и для описания ее распределения используется ряд законов (Вейбулла, экспоненциальный, Релея, Пуассона и др.).

Согласно распределению Вейбулла

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 \cdot t^b),$$

где $t \geq 0$, $\lambda_0 > 0$, $b > 0$, а $f(t) = \lambda_0 \cdot b \cdot t^{b-1} \cdot \exp(-\lambda_0 \cdot t^b)$.

Этому закону подчиняется распределение отказов в изделиях с большим числом неремонтируемых элементов (ЭВП, полупроводниковые приборы, микромодули и т.д.).

Экспоненциальное распределение рассматривается как частный случай распределения Вейбулла при $b=1$, т.е. $f(t) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$, $P(t) = \exp(-\lambda \cdot t)$ и $T_0 = 1/\lambda$.

Это распределение типично для РЭА с большим числом неремонтируемых элементов, имеющих внезапные отказы.

Распределение Релея описывает изделия с выраженным эффектом старения и износа.

Нормальное распределение широко используется для изделий, для которых типичен износ.

Распределение Пуассона применимо для оценки надежности ремонтируемых изделий с простейшим потоком отказов. Считается, что случайная величина t распределена по закону Пуассона, если вероятность того, что она примет определенное значение K выражается формулой

$$P_K(t) = (a^K / K!)e^{-a}, \quad (3.12)$$

где a – параметр закона (матожидание случайной величины t).

Среднее число отказов в интервале $(0, t)$

$$a = \lambda \cdot t, \quad (3.13)$$

а интенсивность потока отказов

$$\omega(t) = \lambda. \quad (3.14)$$

Рассмотрим для последнего распределения типичный пример.

Пример 3.5. Среднее число отказов ремонтируемого изделия за $t = 500$ ч равно 10 . Какова вероятность того, что за время $\Delta t = 100$ ч работы возникает 2, 3 отказа. Матожидание числа отказов за $\Delta t = 100$ ч $\lambda_t = (10/500) \cdot 100 = 2$.

Тогда

$$P_{K=2} = (2^2 / 1 \cdot 2) \cdot e^{-2} = 2 \cdot 0,135 = 0,27,$$

$$P_{K=3} = (2^3 / 1 \cdot 2 \cdot 3) \cdot e^{-2} = (8/6) \cdot 0,135 = 0,18.$$

Из последних публикаций на данную тему интерес представляет статья В. Жданкина [20. С. 116-119], а также каталоги изделий некоторых иностранных фирм, в которых указывается средняя наработка на отказ не в часах, а в годах, например 119,5.

4. Ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, готовность

Показатели ремонтпригодности (РМ) вводятся для ремонтируемых изделий. Процесс ремонта (обнаружение и устранение отказов) – случайная величина, поэтому в качестве этой величины берется среднее время ремонта, слагаемое из затрат на обнаружение его последствий, поиск причин отказа и его устранение.

Для количественной оценки РМ используются два показателя:

- средняя продолжительность текущего ремонта \bar{T}_{TP} ;
- средняя продолжительность технического обслуживания $\bar{T}_{ТО}$.

Здесь мы рассмотрим \bar{T}_{TP} , второй показатель будет рассмотрен нами позднее.

Средняя продолжительность текущего ремонта есть матожидание времени восстановления работоспособности

$$T_{TP} = \int_0^{\infty} T_{Pi} f(t_p) dt, \quad (4.1)$$

где T_{Pi} – время ремонта i -го изделия;

$f(t_p)$ – плотность распределения случайной величины времени ремонта.

В процессе эксплуатации ведется учет отказов и времени ремонта. Тогда за определенное время t по статистическим данным находим

$$\bar{T}_{TP} = (\sum_{i=1}^n T_{Pi}) / n, \quad (4.2)$$

где n – число отказов за время t .

Величина, обратная средней продолжительности текущего ремонта $\mu_p = \frac{1}{\bar{T}_{TP}}$, есть интенсивность ремонта и характеризует число ремонтов, произведенных в единицу времени.

Пример 4.1. При эксплуатации изделия было $n = 20$ отказов, из них отказали: полупроводники (п/п) – 6, резисторы (R) и конденсаторы (C) – 8, трансформаторы и дроссели (Tr , Dr) – 4, ИМС – 2. На ремонт после выхода из строя п/п

затрачивалось 15 мин, R и C – 10 мин, Tr и Dr – 20 мин, ИМС – 25 мин. Найти среднее время ремонта.

Находим вес отказов по группе элементов $m_i = \frac{n_i}{n}$;

$$m_{1(П/П)} = 6/20 = 0,3; m_{2(R,C)} = 8/20 = 0,4; m_{3(Tr,Dr)} = 4/20 = 0,2; m_{4(ИМС)} = 2/20 = 0,1.$$

$$\text{Далее } T_{TP} = \sum_{i=1}^4 t_{Pi} m_i = 15 \cdot 0,3 + 10 \cdot 0,4 + 20 \cdot 0,2 + 25 \cdot 0,1 = 15 \text{ мин.}$$

Под долговечностью понимают свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе ТО и ремонта.

Для ее оценки используют следующие показатели – срок службы и ресурс, заносящиеся в формуляр и паспорт изделия и являющиеся основанием для списания изделия или отправки его в средний или капитальный ремонт.

Для ремонтируемых и неремонтируемых изделий различают:

- средний срок службы;
- средний срок службы до списания;
- гамма – процентный ресурс.

Средний срок службы – матожидание срока службы от начала эксплуатации до наступления предельного состояния

$$T_{сл} = \int_0^{\infty} t_{сл_i} \cdot f(t_{сл}) dt, \quad (4.3)$$

где $t_{сл_i}$ - срок службы i -го изделия;

$f(t_{сл})$ - функция плотности распределения времени срока службы.

По статистическим данным

$$\bar{T}_{сл} = (\sum_{i=1}^N T_{сл_i}) / N, \quad (4.4)$$

где $T_{сл_i}$ - срок службы i -го изделия;

N – число изделий.

Средний срок службы до списания – время от начала эксплуатации РЭА до ее списания, обусловленного предельным состоянием

$$\bar{T}_{сл} = (\sum_{i=1}^N T_{сл_i}) / N. \quad (4.5)$$

Гамма – процентный срок службы $T_{сл\gamma}$ – срок службы, в течение которого изделие не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ процентов. Так, при $\gamma = 95\%$ (95% срок службы) – 95% изделий

данной партии не достигнут предельного состояния за установленный срок службы.

Гамма – процентный срок службы определяется как

$$q(T_{сл\gamma}) = P(T_{сл\gamma}) = \gamma \cdot 100, \quad (4.6)$$

где $q(T_{сл\gamma})$ – функция распределения срока службы.

У ремонтируемых изделий различают средний срок службы до среднего (капитального) ремонта и средний срок службы между средними (капитальными) ремонтами.

Средний срок службы до среднего (капитального) ремонта – $T_{сл\text{ср}}$ ($T_{сл\text{к}}$) – средний срок службы от начала эксплуатации до первого среднего (капитального) ремонта.

Средний срок службы между средними (капитальными) ремонтами – $T_{сл\text{м.ср}}$, $T_{сл\text{м.к}}$ – средний срок службы между средними (капитальными) ремонтами.

Гарантийный срок службы – время, в течение которого выявляются дефекты, не обнаруженные при изготовлении изделия, а изготовитель (при соблюдении потребителем правил эксплуатации, хранения и транспортирования) обеспечивает выполнение установленных требований к изделию и несет ответственность.

Ресурсом называют наработку изделия от начала эксплуатации (или после ее возобновления после среднего (капитального) ремонта) до наступления предельного состояния.

Различают средний, назначенный и гамма-процентный ресурс.

Средний ресурс (матожидание ресурса)

$$R_{cp} = \int_0^{\infty} r_i f(r) dr, \quad (4.7)$$

где r_i – ресурс работы i -го элемента;

$f(r)$ – функция плотности распределения величины r .

Назначенный ресурс R_n – суммарная наработка изделия, при достижении которой прекращается его эксплуатация независимо от его состояния.

Гамма – процентный ресурс, R_γ – наработка, в течение которой изделие не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ процентов.

Сохраняемость – свойство изделия сохранять на этапах хранения и транспортирования свои заданные эксплуатационные свойства.

Показатели сохраняемости:

средний срок сохраняемости (матожидание срока сохраняемости)

где λ_i – сохраняемость i -го изделия;

$f(t_c)$ – плотность распределения величины t_c .

По статическим данным

где N – количество изделий;

t_{ci} – срок сохраняемости i -го изделия.

Готовность – понятие, применяемое не только к РЭА, но и к обслуживающему персоналу.

Она определяется:

- надежностью;
- принятой системой ТО и контроля;
- совершенством оргструктуры обслуживающих органов;
- организацией процесса обслуживания заявок и интенсивностью их поступления;
- квалификацией обслуживающего персонала (ОП);
- совершенствованием систем ремонта и организации обслуживания.

Показатели готовности:

- коэффициент готовности K_r ;
- коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$;
- коэффициент технического использования $K_{ти}$.

Коэффициент готовности K_r представляет собой отношение суммарного времени исправной работы к общему времени исправной работы и ремонта, т.е.

$$(4.8)$$

Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ – вероятность того, что изделие, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособным в любой момент времени

$$(4.9)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы.

Коэффициент технического использования

$$(4.10)$$

где $T_{о\Sigma}$ – суммарная наработка всех изделий;

$T_{P\Sigma}$ – суммарное время простоев из-за ремонта;

$T_{TO\Sigma}$ – суммарное время простоев из-за ТО.

Пример 4.2. Приемник до испытаний проработал 458 ч, к концу испытаний – 2783 ч, было 5 отказов. Среднее время ремонта 1,5 ч. Найти наработку на отказ T_o и K_r .

$$\bar{T}_o = \frac{(2783 - 458)}{5} = \frac{2325}{5} = 465 \text{ ч.}$$

$$K_r = \frac{\bar{T}_o}{(\bar{T}_o + \bar{T}_{TP})} = \frac{465}{(465 + 1.5)} = 0.997.$$

Пример 4.3. В результате испытаний 35 изделий в течение $t = 1000$ ч получено значение $\lambda = 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Закон распределения отказов экспоненциальный. Время ремонта – случайная величина, принимающая значение $t_{P_1} = 3$ ч с $P_1 = 0.6$; $t_{P_2} = 3.2$ ч с $P_2 = 0.5$ и $t_{P_3} = 3.5$ ч с $P_3 = 0.4$.

Найти $P(t)$, T_o , T_{TP} , K_r и $K_{ог}$.

$$P(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-10^{-4} \cdot 1000) = e^{-0.1} = 0.9$$

$$T_{TP} = \sum_{i=1}^3 t_{P_i} = 3 \cdot 0.6 + 3.2 \cdot 0.5 + 3.5 \cdot 0.4 = 4.8 \text{ ч.}$$

$$T_o = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{10^{-4}} = 10^4 \text{ ч.};$$

$$K_r = \frac{10000}{1000 \cdot 4.8} = 0.9984;$$

$$K_{ог} = 0.9984 \cdot 0.9 = 0.9035.$$

Пример 4.4. При эксплуатации изделия в течение года его суммарная наработка равна $T_{o\Sigma} = 7400$ ч, суммарное время ремонтов $T_{P\Sigma} = 480$ ч и суммарное время техобслуживания $T_{TO\Sigma} = 880$ ч. Найти K_{TH} .

$$K_{TH} = \frac{T_{o\Sigma}}{T_{o\Sigma} + T_{P\Sigma} + T_{TO\Sigma}} = \frac{7400}{7400 + 480 + 880} = 0.844.$$

5. Влияние различных факторов на показатели надежности

В процессе эксплуатации на РЭА действуют различные факторы, влияющие на ее надежность. При этом различают субъективные факторы – влияние внешней среды (механические, климатические, метео, биологические и т. д.) и объективные.

Они бывают конструктивно-производственные и эксплуатационные.

Первые из них связаны с процессами разработки и изготовления РЭА. Их влияние – определяющее.

Вторые связаны с влиянием внешней среды, организацией системы техобслуживания, ремонта, обеспечения ЗИПом, квалификацией обслуживающего персонала и т. д.

Рассмотрим влияние вышеуказанных факторов. При разработке РЭА обычно предусматривают, что РЭА в процессе эксплуатации будет находиться при определенных условиях.

Нормальными условиями эксплуатации считаются:

температура окружающей среды t , град.С	- плюс 25 ± 10 ;
атмосферное давление, мм. рт. ст.	- 750;
относительная влажность, %	- 60 ± 20 ;
механические нагрузки	- отсутствуют;
электрический режим	- номинальный.

Интенсивность отказов элементов в нормальном (номинальном) режиме эксплуатации называется номинальной интенсивностью отказов λ_{H_i} .

λ_i в реальных условиях равна λ_{H_i} , умноженной на поправочный коэффициент, учитывающий влияние какого-либо фактора, т. е.

$$\lambda_i = \lambda_{H_i} \cdot K_i. \quad (5.1)$$

Время эксплуатации и деятельность обслуживающего персонала являются основным фактором, определяющим надежность аппаратуры на всех этапах.

Различают три периода эксплуатации аппаратуры.

Технологические и конструктивные недостатки чаще всего выявляются в первый период эксплуатации, т. к. в этот период выявляются многие явные и скрытые дефекты как аппаратуры в целом, так и ее составных частей и элементов.

Длительность этого (первого) периода эксплуатации – от 1 до 10% длительности нормальной эксплуатации.

После достаточно длительной эксплуатации аппаратуры (второй период) наступает последний (третий) период, характеризующийся значительным возрастанием интенсивности отказов из-за старения и износа элементов. Это объясняется необратимыми изменениями параметров и характеристик элементов. Процессы старения могут ускоряться под влиянием различных факторов (тепло, влага, свет, давление и т. д.).

Причина старения – сложные физические процессы, происходящие в элементах в течение всего периода эксплуатации. К ним относятся структурные изменения в диэлектриках и проводниках, нарушение электрической и механической прочности материалов и элементов, нарушение герметизации и т. д. Значительное влияние на надежность РЭА оказывают факторы, связанные с деятельностью обслуживающего персонала: квали-

фикацией, соблюдением правил эксплуатации, степенью организованности системы техобслуживания.

Последняя определяет лучшие методы и формы эксплуатации РЭА, при которых обеспечивается высокая безотказность и долговечность. Она предусматривает организацию ряда мероприятий (таких как профилактика, ремонт, снабжение ЗИПом и т.д.), направленных на обеспечение эксплуатации с наиболее высоким значением коэффициента K_T .

Улучшению эксплуатационных характеристик РЭА способствуют надежная сборка и учет в процессе конструирования и изготовления данных по эксплуатации опытных или аналогичных изделий, а также обработка данных эксплуатации РЭА. Полученные статистические данные и их анализ помогают лучше организовать систему техобслуживания, обеспечение ЗИПом и прогнозировать возможные отказы. Эти результаты полезны для разработки новой аппаратуры.

Рассмотрим факторы, влияющие на эксплуатацию РЭА.

5.1. Электрические режимы

Все элементы характеризуются нагрузками по мощности рассеивания, токам, напряжениям и т.д. Следовательно, работа элементов при предельных нагрузках сокращает срок их службы и не гарантирует надежной работы. Если нагрузки уменьшить до оптимальных, то надежность работы увеличится.

О значении реальной нагрузки судят по статистическим данным эксплуатации и замерам режимов работы элементов.

Для оценки режима работы используют коэффициент нагрузки по мощности (P) или по напряжению (U).

Коэффициент нагрузки по мощности

$$K_P = \frac{P_P}{P_H},$$

где P_P – рабочее значение,

P_H – номинальное значение мощности рассеивания.

Коэффициент нагрузки по напряжению

$$K_U = \frac{U_P}{U_H},$$

где U_P – рабочее напряжение,

U_H – номинальное напряжение.

При разработке обычно принимают коэффициенты $\approx 0,4-0,6$.

5.2. Климатические режимы

На температуру (t) внутри РЭС существенное влияние оказывают колебания температуры окружающей среды:

- сезонные - 60-80°C,
- суточные - 20-40°C.

Под влиянием солнечных лучей возможно повышение температуры до 40°C, что приводит к повышению температуры элементов и, следовательно, к повышению коэффициента его нагрузки. Также оказывает влияние скорость и цикличность изменения температуры. Особенно он заметно возрастает при воздействии положительных температур. Так при возрастании температуры от 20 до 85°C для германиевых транзисторов λ возрастает в 3 раза (с $0,2 \cdot 10^{-7} \text{ч}^{-1}$ до $0,6 \cdot 10^{-7} \text{ч}^{-1}$), а ИМС – в два-три раза.

Повышенная температура способствует распаду органических материалов, перегреву и выходу из строя ЭВП, полупроводниковых элементов, ухудшению изоляционных свойств различного вида заливок, обмоток, механических свойств полимеров, что приводит к деформации деталей и выходу их из строя.

Периодические смены температур (низких и высоких) быстро приводят к разрушению различного рода заливок, обмоток, механических свойств полимеров.

При отрицательных температурах пластмассы теряют прочность, резинотехнические изделия делаются ломкими. В образовавшиеся трещины изоляции попадает влага, ее электрическая прочность снижается. Легко разрушаются соединения пластмасс с металлами, сплавы металлов со стеклом, нарушается пайка, падает емкость электролитических конденсаторов, уменьшаются коэффициенты усиления транзисторов.

Повышенная влажность - наиболее отрицательно воздействующий фактор. Она характеризуется относительной влажностью, представляющей собой измеряемое в процентах отношение физически содержащихся в воздухе водяных паров к максимально возможному их содержанию при данной температуре. Нормальная влажность – 60-65%. При влажности 88% воздух считается сырым, в тропиках влажность достигает 98%. Воздействие влаги и атмосферных осадков на РЭА может осуществляться путем поглощения водяных паров из воздуха, конденсации водяных паров на поверхности изделий, смачивания брызгами (дождь и снег), погружением в воду.

Повышенная влажность ухудшает электрические характеристики диэлектриков (падают удельные сопротивления – объёмное и поверхностное), уменьшается электрическая прочность. При повышенной влажности разрушается структура резисторов и снижается их стойкость, кроме того, увеличиваются потери в контурных катушках (резонаторах).

Для защиты от влаги аппаратура изготавливается в герметичном исполнении с резиновыми уплотнителями. В ряде случаев применяется по-

крытие лаком, заливка эпоксидной смолой и т.д., широко используется пропитка (обмоточные изделия), опрессовка – покрытие слоем изоляционного материала.

Влага также окисляет контакты, уменьшает сопротивление между выводами, ускоряет разрушение лакокрасочных покрытий, нарушает герметизацию и целостность заливки, приводит к коррозии металлических деталей, снижает чувствительность приёмников, ухудшает стабильность частоты гетеродинов, снижает КПД передатчиков, увеличивает потери в линиях передачи (в кабелях, коаксиальных волноводах и т.д.). В результате этого снижается надёжность РЭА.

$$\lambda_B = \lambda_{H.B.} \cdot K_B,$$

где $\lambda_{H.B.}$ – интенсивность отказов при нормальной влажности.

Значения поправочного коэффициента K_B в зависимости от температуры и влажности приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Влажность %	Температура °С	Поправочный коэффициент K_B (отн. ед)
60-70	20-40	1
90-98	20-25	2
90-98	30-40	2,5

5.3. Колебания и большие ускорения

Учитывая, что удары и вибрации нарушают целостность паяк, контактов, повреждают ЭВП, приводят к обрывам проводов, выводов конденсаторов и резисторов, ослаблению металлических соединений и нарушению регулировок, заводы изготовители проводят испытания на механическую устойчивость. Критериями оценки служат следующие показатели:

Ударные ускорения

$$g_y = \gamma^2 / 2 \cdot 9,81 \cdot l_y, \quad (5.2)$$

где g_y – ускорение в относительных единицах (по отношению к ускорению свободного падения);

γ – мгновенная скорость в момент удара, м/с;

l_y – перемещение при ударе, м.

Так, например, при падении блока без упаковки с высоты $H=50$ см и при остаточной деформации $l_y=1$ мм относительное ускорение достигает 250.

Для защиты от ударов в аппаратуре предусматривается установка амортизаторов.

5.4. Вибрации

Ускорения вибрации

$$g_{\epsilon} = 4 \cdot \pi \cdot f^2 \cdot l_{\epsilon} / 9,81, \quad (5.3)$$

где f – частота колебаний, Гц ;

l_{ϵ} – амплитуда перемещений, м.

В табл. 5.2 приведены характеристики вибраций и перегрузок при различных видах транспортных перевозок.

Таблица 5.2

Виды перевозок	Вибрации Гц	Перегрузка g единиц.	Значение частот, соответствующее максимуму перегрузок Гц
Морские	0 - 30	1	10 - 30
Ж/Д	1,5 - 400	2	2 - 8; 30 - 400
Автомобильные	0 - 200	4 - 5	2 - 3; 20 - 150
Авиационные	5 - 600	20	150 - 300
Аппаратура в ракете	30 - 2000	10 - 70	-

Требования к прочности, виброустойчивости при различных видах испытаний, параметрах приведены в табл. 5.3.

Практика показывает, что наиболее опасными являются вибрации с частотами 10-150 Гц и 175-500 Гц. Вследствие вибрации и ударов параметр потока отказов одной и той же аппаратуры, установленной в самолётах, ракете будет выше в 10-100 раз. Поэтому для такой аппаратуры применяют специальные меры по повышению надёжности.

Для защиты аппаратуры от вибраций и ударов используют различные типы амортизаторов (цельнометаллические, резиновые, резинометаллические).

Механические повреждения аппаратуры может вызвать и обслуживающий персонал при недостаточной квалификации и небрежном отношении к ней.

Таблица 5.3

Вид аппаратуры	Группа аппаратуры	Вид испытаний	Напряжение питания	Параметры нагрузки	
				Наименование и размерность	Значение
Стационарная, Переносная, Носимая, Транспортная (в упаковке)	I - IV	На прочность при транспортировании	выкл.	Ускорение, м/с ² (g)	147(15)
				Длительность ударного импульса, м/с	11
				Число ударов	1000
				Частота ударов в мин	60 - 120
Носимая, Транспортная (без упаковки)	III - IV	На виброустойчивость	Номин. (вкл.)	Ускорение, м/с ² (g)	20(2)
				Диапазон частот, Гц	10 – 55
				Продолжительность испытаний, мин	5 – 10

5.5. Пониженное давление, чистота воздуха

Эти факторы влияют на авиационные, космические аппараты, ракеты, а также в тех случаях, когда аппаратура эксплуатируется на больших высотах, например, в горах. Первый фактор влияет на изоляционные свойства воздуха (вызывает изменение емкости воздушных конденсаторов и изменение характеристик тех элементов, где изоляцией является воздух). При этом возникают тлеющие разряды (при $H=1,0 \dots 1,6$ км пробивное напряжение уменьшается в 4 раза), ухудшаются отвод тепла (при $H=6$ км теплоемкость уменьшается в 2 раза), а также увеличивается поправочный коэффициент K_d , приведенный в табл. 5.4.

На надежность аппаратуры большое влияние оказывает загрязненность воздуха (как его запыленность, так и наличие химических примесей). В обычных условиях в воздухе содержится до 60 мг/куб.м пыли, которая ухудшает поверхностное сопротивление плат, ускоряет износ движущих частей аппаратуры и контактов.

Таблица 5.4

Высота км	Давление мм.рт.ст.	Поправочный коэффициент
0,1	700	1,0
1,0	670	1,05
3,0	520	1,14
5,0	405	1,16
10,0	195	1,30
20,0	30	1,35
30,0	8,5	1,40

Для защиты печатных плат от пыли используют специальные покрытия. При наличии химических примесей пыль увеличивает коррозию металлов, ускоряет процесс старения в пластмассах и органических диэлектриках. Особенно сильно эти факторы заметны при эксплуатации аппаратуры в морских условиях (здесь влияют соль, соляной туман). Для защиты используются герметизация и специальные влаго- и соляностойкие покрытия.

6. Общие методы повышения надежности. Резервирование

Надежность РЭА зависит от многих факторов, в основном от конструктивно-производственных и эксплуатационных.

На стадии разработки надежность обеспечивается:

- выбором схемных и конструктивных решений;
- заменой аналоговой обработки цифровой;
- выбором элементов и материалов;
- выбором режимов работы элементов;
- разработкой мер по удобству ТО и эксплуатации;
- учетом возможностей оператора и требований эргономики.

Конструктивные решения также влияют на надежность, они должны обеспечить нужные тепловые режимы элементов, безотказность при повышенной влажности и действии ударных и вибрационных нагрузок. Применяемые материалы должны иметь малую скорость старения. В аппаратуре должны быть предусмотрены контрольные гнезда, обеспечен легкий доступ к ячейкам (блокам), удобство контроля состояния РЭА и безопасность обслуживающего персонала (ОП). Эргономические решения должны учитывать психофизические возможности оператора.

Не менее важным является обеспечение надежности в процессе изготовления и ремонта, т.е. надо выбирать и внедрять:

- прогрессивные технологии;
- автоматизацию;
- входной контроль элементов;

- предварительную тренировку элементов и аппаратуры в целом;
- текущий и выходной контроль.

Правильная эксплуатация изделий также влияет на надежность.

Ее факторы:

- влияние внешней среды и условий эксплуатации;
- организация эксплуатации;
- квалификация обслуживающего персонала.

Важным фактором повышения надежности является использование ИМС, которые уменьшают массогабаритные характеристики, электропотребление и стоимость. Сейчас характерен рост степени интеграции ИМС, составляющая $5 \cdot 10^4$ элементов на кристалл.

В настоящее время определились два направления микроэлектронной аппаратуры:

- на основе корпусированных ИС;
- 2-х и многослойных печатных плат;
- на основе бескорпусных ИС и плат с пленочными соединениями и пассивными элементами.

Интегральные микросхемы классифицируют по технологии изготовления и функциональным признакам.

В зависимости от технологии изготовления ИМС делят на полупроводниковые, пленочные, гибридные, а по функциональному назначению – на цифровые, аналоговые и СВЧ.

Первые представляют собой кристалл кремния, на поверхности которого сформированы элементы и межэлементные соединения. Полупроводниковые ИМС более надежны и дешевле из всех интегральных структур.

Вторые представляют собой совокупность расположения на диэлектрической подложке пленочных пассивных элементов (R, C и т.д.) и соединений с навесными некорпусированными элементами.

При изготовлении гибридных микросхем находят применение как тонкопленочная, так и толстопленочная технология, которая имеет малую стоимость и широко используется в бытовой РЭА. Преимуществами гибридных схем являются:

- возможность получения пленочных пассивных элементов широкой номенклатуры с жесткими допусками;
- сравнительно высокий процент выхода годных ИМС из-за отбраковки компонентов перед сборкой;
- возможность замены навесных элементов в процессе эксплуатации, что повышает ремонтпригодность РЭА.

Опыт эксплуатации и систематизации данных по отказам полупроводниковым ИМС показал, что их надежность определяется следующими факторами:

- внешними соединениями;
- внутренними контактными соединениями;
- корпусами ИМС;

- площадью кристаллов.

Тогда при экспоненциальном законе интенсивность отказов $\lambda_{ИС}$ равна сумме интенсивностей отказов

$$\lambda_{ис} = \lambda_{вс} + \lambda_{кс} + \lambda_{к} + \lambda_{н}, \quad (6.1)$$

где $\lambda_{вс}$ – интенсивность отказов внешних соединений;

$\lambda_{кс}$ – интенсивность отказов контактных соединений;

$\lambda_{к}$ – интенсивность отказов корпусов;

$\lambda_{н}$ – интенсивность отказов кристалла.

В табл. 6.1 дано количественное распределение отказов по компонентам ненадежности биполярных ИМС.

Таблица 6.1

Виды отказов	Распределение отказов
Отказы внешних соединений	0,33
Отказы контактных соединений	0,26
Микротрещины в проводящих пленках из-за нарушений герметичности корпуса	0,16
Отказы, зависящие от площади кристалла	0,25

Надежность современных ИМС $\lambda_{ИС} = 10^{-8} \text{ ч}^{-1}$, а в ближайшем будущем сможет приблизительно составить от 10^{-10} до 10^{-11} ч^{-1} .

Пример 6.1. Рассчитать надежность РЭА сложностью $N_3 = 10^6$ дискретных элементов:

- 1) РЭА построена на обычных элементах с использованием бескорпусных транзисторов и сверхминиатюрных деталей со средним объемом элемента $0,1 \dots 0,2 \text{ см}^3$, средней массой $0,1 \dots 0,2 \text{ г}$ и $\lambda_{э} = 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$;
- 2) РЭА построена на ИС при степени интеграции $I_{ИС} = 10^4$ элементов/ на кристалл $\lambda_{ИС} = 10^{-8} \text{ ч}^{-1}$.

Для первого варианта

Объем аппаратуры (без учета конструктивного оформления) составит $0,1 \dots 0,2 \text{ м}^3$, а масса $100 \dots 200 \text{ кг}$.

Мощность рассеивания РЭА сложностью 10^6 элементов при $P_{СР \text{ эл-ма}} = 5 \text{ мВт}$ будет равна 5 кВт .

Интенсивность отказов при экспоненциальном законе

$$\lambda_i = \sum_{i=1}^{N_э} \lambda_{э_i} + \sum_{j=1}^{N_с} \lambda_{с_j},$$

где $N_{\text{Э}}$ – число элементов РЭА;

где N_C – число контактных соединений в РЭА;

$\lambda_{\text{Э}_i}$ – интенсивность отказов i -го элемента;

λ_{C_j} – интенсивность отказов j -го соединения, равная 10^{-7} ч^{-1} .

Полагая все элементы и соединения равнонадежными и $N_C = 2N_{\text{Э}}$, получим

$$\lambda_1 = N_{\text{Э}} \cdot \lambda_{\text{Э}} + 2N_{\text{Э}} \lambda_C = 10^6 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-7} = 1,2 \text{ ч}^{-1}.$$

Наработка на отказ $T_{O_1} = 1/\lambda_1 = 1/1,2 \text{ ч}^{-1} = 0,83 \text{ ч} \approx 50 \text{ мин}$, что означает практическую неработоспособность такой аппаратуры.

Для второго варианта

Общее число ИС $N_{\text{ИС}} = N_{\text{Э}}/I_{\text{ИС}} = 10^6/10^4 = 10^2$.

Также полагая все ИС равнонадежными, получим

$$\lambda_2 = N_{\text{ИС}} \cdot \lambda_{\text{ИС}} = 10^2 \cdot 10^{-8} \text{ ч}^{-1} = 10^{-6} \text{ ч}^{-1}.$$

Средняя наработка на отказ

$$T_{O_2} = 1/\lambda_2 = 1/10^{-6} \text{ ч}^{-1} = 10^6 \text{ ч}.$$

Ориентировочные расчеты показали, что средняя наработка на отказ при использовании ИС по сравнению с первым вариантом выросла почти в 10^6 раз, что говорит о больших возможностях второго варианта.

При этом резко уменьшаются массогабаритные характеристики, мощность потребления (в 10 и более раз), стоимость, повышается быстродействие, появляется возможность автоматизации производства.

Резервирование является способом повышения надежности путем включения резерва, предусмотренного в процессе разработки или эксплуатации РЭА. Его реализация связана с усложнением РЭА, увеличением ее стоимости. В бытовой аппаратуре этот метод пока не нашел применения. Различают три метода резервирования:

- общее (резервирование объекта в целом);
- раздельное (резервирование отдельных узлов);
- смешанное (совмещение первых двух методов).

Отношение числа резервных элементов к числу резервированных называют кратностью резервирования. Резервирование может быть с восстановлением работоспособности и без ее восстановления. Сам резервный элемент может быть как ремонтируемым, так и неремонтируемым.

Если $P_1(t)$ – вероятность безотказной работы одного элемента, то при одинаковом $P_1(t)$ для всех элементов получим

$$P_m(t) = 1 - [1 - P_1(t)]^{m+1}. \quad (6.2)$$

Значения $P_m(t)$ и $P_1(t)$ для элементов с различной надежностью даны в табл. 6.2.

Таблица 6.2

$P_1(t)$	$P_m(t)$ при		
	$m=1$	$m=2$	$m=3$
0,5	0,75	0,875	0,9375
0,7	0,91	0,973	0,9919
0,9	0,9975	0,999	0,99999
0,99	0,9999	0,999999	0,99999999

Различают три способа включения резерва:

- постоянное;
- замещение;
- скользящее.

В первом случае резервные элементы участвуют в функционировании изделия наравне с основными.

Во втором – функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента (здесь обязательно наличие коммутаторов или переключателей). Резервные элементы могут находиться в нагруженном, облегченном и ненагруженном режимах. Если РЭА содержит несколько групп однотипных элементов, то для резервирования замещением достаточно использовать один или несколько резервных элементов.

Третий случай применяется при наличии в аппаратуре одинаковых элементов (узлов, блоков).

Вероятность безотказной работы изделия с общим резервированием

$$P_{OB}(t) = 1 - q_{OB} = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - P_i), \quad (6.3)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -ой цепи;

q_{OB} – вероятность отказа основного элемента изделия.

Вероятность безотказной работы изделия с отдельным резервированием

$$P_p(t) = [1 - (1 - P_1)^{m+1}]^n, \quad (6.4)$$

где n – число последовательно соединенных элементов;

P_k – вероятность безотказной работы элемента;

m – число ветвей разветвления.

В формуле (6.4) все элементы равнонадежны.

При экспоненциальном законе ($P_i = e^{-\lambda t}$) и равнонадежности элементов

$$P_{OB}(t) = 1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m+1}, \quad (6.5)$$

где $\lambda_0 = n\lambda_l$ – интенсивность отказов цепи.

Время безотказной работы

$$T_{OB} = T_{CPO} A_m = A_m / \lambda_0, \quad (6.6)$$

где $A_m = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \dots + \frac{1}{m+1}$.

T_{CPO} – среднее время безотказной работы не резервированной цепи.

Значения A_m для различных m даны в табл. 6.3.

Таблица 6.3

m	1	2	3	4	5
A_m	1,5	1,83	2,08	2,28	2,45

Для отдельного резервирования

$$P_p(t) = [1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]^n. \quad (6.7)$$

$$T_p = \frac{(n-1)!}{\lambda(m+1)} \sum_{i=0}^m \frac{1}{v(v_{i+1}) \dots (v_{i+n-1})}, \quad (6.8)$$

где $v_i = (i+1)/(m+1)$.

При $m=1$ (дублирование) и $n > 5$

$$T_p = \frac{1}{\lambda_n} [0,5 + 0,89\sqrt{n}]. \quad (6.9)$$

Для случая общего резервирования с замещением вероятность безотказной работы и среднее время работы до отказа определяются формулами (6.5) и (6.6).

В случае скользящего резервирования замещением (зр) $P_{зр}(t)$ и $T_{зр}$ рассчитывается по формулам (6.7, 6.8, 6.9).

При скользящем резервировании

$$P_{ск}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m (\lambda_0 t)^i / i!, \quad (6.10)$$

где $\lambda_0 = n \cdot \lambda_i$, а

$$T_{ск} = T_{cp0}(m_0 + 1), \quad (6.11)$$

- T_{cp0} – среднее время безотказной работы нерезервированной цепи;
 m_0 – число резервных элементов;
 λ_0 – интенсивность отказов не резервированного изделия;
 λ_i – интенсивность отказов не резервированного элемента.

Пример 6.2. Схема расчета надежности изделия с общим резервированием элементов дана на рис. 6.1.

λ_1 элементов равна $0,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$

λ_2 элементов равна $0,1 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$.

Найти вероятность безотказной работы в течение времени $t = 100 \text{ ч}$ и T_{cp} при общем резервировании

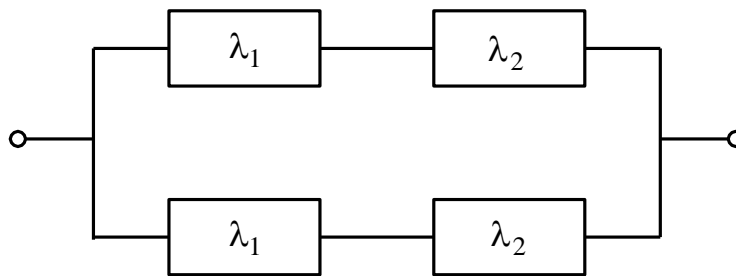


Рис. 6.1

$$P_{об}(100) = 1 - [1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}]^{m+1} = 1 - [1 - e^{-5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 100}]^2 = 0,9975$$

$$T_{об} = A_m / (\lambda_1 + \lambda_2) = 1,5 / 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} = 2941 \text{ ч}.$$

Пусть теперь $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, тогда $T_{об} = 1,5 / 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} = 1500 \text{ ч}$.

Пример 6.3. Система состоит из двух одинаковых элементов. Для повышения ее надежности предложено два варианта резервирования:

- 1) по способу замещения с ненагруженным состоянием резерва (рис. 6.2)

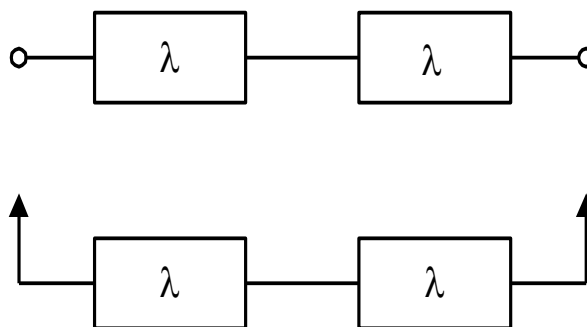


Рис. 6.2

2) скользящее резервирование при одном резервном элементе (рис. 6.3)

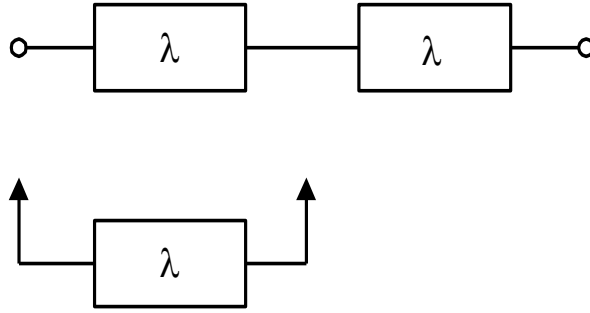


Рис. 6.3

Какой из вариантов целесообразен, с точки зрения надежности, если λ элемента неизвестна?

По формуле 6.10 с учетом формулы $P_{обз}$ находим

$$P_{обз} = e^{-\lambda_0 \cdot t} \left[1 + \sum_{i=1}^m (a_i / i!) (1 - e^{-\lambda \cdot t})^i \right]$$

$$P_a(t) = P_{обз}(t) = e^{-2\lambda t} (1 + 2\lambda t) .$$

Таким образом, оба варианта резервирования равнозначны, с точки зрения надежности.

Пример 6.4. ЭВМ имеет 524 однотипных ячейки, в ЗИПе – 4 ячейки.

Найти вероятность безотказной работы и среднюю наработку до 1-го отказа в течение 1000 ч, если

$$\lambda_{ячейки} = 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} .$$

Так как отказавшую ячейку можно заменить ЗИПовской, то можно использовать формулы скользящего резервирования

$$\lambda_0 = \lambda N = 0,1 \cdot 10^{-5} \cdot 524 = 524 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} ,$$

$$P_{ск}(1000) = e^{-\lambda_0 \cdot t} \sum_{i=1}^4 (\lambda_0 t)^i / i! = 0,997 ,$$

$$T_{ск} = T_{ср0}(m + 1) = 5 / \lambda_0 = 5 / 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} = 9542 \text{ ч} .$$

7. Расчет и контроль надежности радиоэлектронных систем в целом

Под расчетом надежности понимают определение числовых показателей по тем или иным исходным данным. Решение этой задачи требует разработки определенных математических методов, а также проведение мероприятий по сбору статистических данных.

Различают аналитические методы расчета при разработке аппаратуры и расчет надежности по статистическим данным.

Требования по надежности включают:

- перечень показателей и их количественные значения;
- сроки расчетов показателей;
- методику, условия и место испытаний (верхние и нижние границы, риск изготовителя и потребителя).

Сложная РЭА состоит из блоков, узлов, элементов, от надежности которых зависит надежность аппаратуры в целом. Следовательно, распределяют требования к надежности отдельных частей аппаратуры, исходя из общих требований к РЭА.

Вероятность безотказной работы РЭА за время t

$$P_{РЭА} = 1 - q_{РЭА} = [1 - q_1(t)][1 - q_2(t)] \dots [1 - q_N(t)] = \prod_{i=1}^N [1 - q_i(t)] \quad , \quad (7.1)$$

где $q_{РЭА}$ – вероятность отказа РЭА в целом;

q_i – вероятность отказа подсистемы;

N – число подсистем.

Получив от главного конструктора системы долю надежности i -той подсистемы, определяют надежность блоков, узлов, элементов, необходимость резервирования, средства контроля и выбирают элементы с требуемыми параметрами. Разработчики должны также учитывать следующие факторы: выбор схем, обеспечивающих расширение поля допусков на параметры РЭА схемотехническими методами для практического исключения «постепенных» отказов; выбор элементов с требуемой надежностью, их энергетическую нагрузку в рациональных пределах и защиту от дестабилизирующих факторов конструктивными методами.

Затем составляется схема надежности, т.е. составляется программа обеспечения надежности (ПОН) в целом для последующего аналитического расчета.

В качестве примера в табл. 7.1 даны усредненные данные об интенсивности отказов ряда элементов.

При рассмотрении методов расчета надежности полагаем, что типовые элементы соединены последовательно.

Зависимость между вероятностью безотказной работы элемента и интенсивностью его отказов определяется выражением:

$$P(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(dt)\right). \quad (7.2)$$

Таблица 7.1

Наименование элементов	Интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}$	Наименование элементов	Интенсивность отказов, $\lambda \cdot 10^{-6} \text{ч}^{-1}$
ЭВП	1,0-35	Полупроводниковые диоды	0,12-50
Резисторы	0,01-1	Полупроводниковые триоды	0,09-90
Конденсаторы	0,1-16	Коммутационные устройства	0,003-3,0
Трансформаторы	0,02-6,5	Штепсельные разъемы	0,01-9,0
Дроссели (катушки)	0,02-4,4	Соединения пайкой	0,1-1,0
Реле	0,5-100	ИМС	0,001-0,01

Если РЭА содержит N последовательно включенных однотипных элементов, то

$$\lambda_{N(t)} = N \cdot \lambda(t). \quad (7.3)$$

При наличии K групп различных элементов получаем

$$\lambda_{KN(t)} = \sum_{i=1}^K N_i \cdot \lambda_i(t). \quad (7.4)$$

В упрощенном виде, когда интенсивность отказов можно считать постоянной во времени (для экспоненциального закона)

$$P(t) = \exp(-\lambda(t)), \quad (7.5)$$

где $\lambda = \sum_{i=1}^K N_i \cdot \lambda_i$.

Важным свойством экспоненциального закона является то, что вероятность безотказной работы не зависит от того, сколько времени РЭА проработала до этого.

Среднее время работы до 1-го отказа (наработка на отказ), показатели ремонтпригодности и готовности вычисляются по формулам, данным в разделах 3, 4.

Таким образом, для аналитического расчета надо:

- распределить требования по отдельным подсистемам (блокам), исходя из общих требований;
- составить схему надежности;

- иметь справочные данные об интенсивностях отказов элементов и законе распределения отказов, среднем времени текущего ремонта.

Для оценки надежности по статистическим данным необходимо большая работа по сбору этих данных, в том числе и по использованию данных аналогов. При этом необходимо знать:

- сведения об отказавшем блоке, элементе и его изготовителе;
- сведения о времени наступления отказа;
- сведения о наработке на отказ (λ) отдельных элементов, блоков РЭА в целом;
- сведения о времени ремонта и простоя.

Расчет может проводиться либо в процессе испытаний, либо на основе опыта эксплуатации.

Для сбора статистических данных основой является журнал учета надежности и отчеты по надежности. При этом составляется таблица потока отказов (табл. 7.1) и на ее основании строится вариационный ряд наработки РЭА или устройства (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Номер отказа	1	2	3	4	5	...	25	26	27	28	29	30
Наработка $T_0, ч$	37	53	86	65	2	...	69	77	86	98	107	119

При числе наблюдений более 100 вариационный ряд уже неудобен и подвергается дополнительной обработке, т.е. весь диапазон значений отказов делится на интервалы Δt_i и подсчитывается количество отказов n_i каждого i -го интервала и строится табл. 7.3.

Таблица 7.3

$\Delta t_i, ч$	0-20	20-40	40-60	.....	80-100	100-200
n_i	16	5	2	.....	3	2
$\lambda(t), ч^{-1}$	0,0363	0,0218	0,0125	.....	0,033	-
$P(t)$	0,46	0,3	0,23	.....	0,07	-

Эта таблица называется статистическим рядом. По данным этого ряда строятся гистограммы для оценки показателей надежности.

Пример 7.1. При испытании 10 устройств, отказы которых распределены по нормальному закону, получены следующие значения времени безотказной работы T_{O_i} , ч. (табл. 7.4). Найти T_{CP} .

Таблица 7.4

T_{O_1}	T_{O_2}	T_{O_3}	T_{O_4}	T_{O_5}	T_{O_6}	T_{O_7}	T_{O_8}	T_{O_9}	$T_{O_{10}}$
150	100	70	200	100	100	150	200	80	150

$$\bar{T}_{CP} = (150 + 100 + 70 + 200 + 100 + 100 + 150 + 200 + 80 + 150) / 10 = 130 \text{ ч}$$

Контроль надежности имеет своей целью проверить гипотезу о том, что надежность изделий не ниже установленной. При этом конечным результатом является решение о том, принимать партию изделий или не принимать. Так как контроль проводится на основе испытаний определенной выборки изделий, то возможны два вида ошибок:

- первого рода – хорошая партия бракуется;
- второго рода – плохая партия принимается.

Вероятность ошибки первого рода называют риском изготовителя (α), второго рода – риском потребителя (β).

Совокупность условий испытаний и правил принятия решения называется планом контроля. Под совокупностью условий понимают условия браковки и приемки, заданные значения α и β , объем испытаний. Правила принятия решений определяются методами контроля. Существуют три основных метода контроля:

- однократной выборки (одиночный контроль);
- двукратной выборки (двойной контроль);
- последовательный метод.

Метод однократной выборки заключается в том, что из контролируемой партии объема N_0 изделий берется одна случайная выборка объема N экземпляров. Затем, исходя из выбранных N_0 , N , α или β устанавливается оценочный норматив n_0 .

При контроле числа дефектных изделий партия признается надежной, если число дефектных изделий (число отказов) $n_K \leq n_0$, в том случае если $n_K > n_0$ – партия бракуется.

Последовательный метод контроля не предусматривает предварительного объема выборки. Информация о надежности накапливается при последовательно возрастающем объеме испытаний. Этот контроль по наработке ведется по следующему правилу:

- партия принимается, если $t_{\Sigma} \geq t_1 + n_K t_K$;

- партия бракуется, если $t_{\Sigma} \leq t_2 + n_K t_K$;
- испытания продолжаются, если $t_2 + n_K t_K < t_{\Sigma} < t_1 + n_K t_K$,

где t_{Σ} – суммарная наработка изделий выборки N ;

t_K – оценочный временной норматив;

n_K – количество отказов в рабочих точках графика последовательного контроля наработки.

Наибольшее распространение получили методы последовательного и одиночного контроля.

Самым экономичным является последовательный метод, поэтому ему отдается предпочтение. Для испытаний серийных образцов используется однократный контроль.

8. Испытания по оценке надежности

Повышение качества, комфортных характеристик и функциональных возможностей РЭА ведет к росту ее сложности и, следовательно, к увеличению надежности аппаратуры, требования по которой излагаются в ТУ.

Для бытовой РЭА нормируемым показателем является наработка на отказ T_o , требования по которой даны в табл. 8.1 - 8.3.

Таблица 8.1

Вид телевизора	Нарработка на отказ (для телевизоров) T_o , ч	
	Стационарных	Переносных
Цветной	10200	8000
Черно-белый	11250	8650

Таблица 8.2

Вид магнитофона	Нарработка на отказ (для групп сложности) T_o , ч	
	0 и 1	2,3,4
Аудио	5000	4200
Видео	5000	-

Таблица 8.3

Вид приемника	Нарработка на отказ (для групп сложности) T_o , ч			
	0	1	2	3 и 4
Стационарный	11000	9150	5500	4500
Переносной	9150	9150	5500	4500
Автомобильный	7800	6800	4500	-

Испытаниям на надежность подвергаются изделия опытной партии, установочных серий и серийного производства.

Испытания опытной партии проводит разработчик при участии изготовителя, остальные – изготовитель не реже 2-х раз в год на первом году выпуска и не реже одного раза – в дальнейшем.

При испытании опытной партии (образцов) оценивают безотказность и ремонтпригодность. В качестве показателей безотказности принимается наработка на отказ T_o , ремонтпригодности – средняя оперативная продолжительность текущего ремонта $\bar{T}_{тр}$. При планировании испытаний на безотказность при оценке T_o принимают α и β одинаковыми и равными 0,1 – 0,2.

Испытания опытных партий телевизоров на безотказность проводят по методу усеченного последовательного контроля.

Электропрогон приемников с трактами АМ и ЧМ проводят по тракту АМ – 70%, ЧМ – 30% времени, для автомобильных приемников – 70% времени в автомобильном режиме и 30% - в переносном. Электропрогоны радиол, магнитол – 70% времени в режиме приема сигналов и 30% в режиме электропроигрывающего устройства или магнитофонной панели.

Испытания на безотказность магнитофонов проводят по программе 50 и 100 испытательных циклов.

Каждый испытательный цикл предусматривает:

- наработку на максимальном, номинальном и минимальном напряжениях питания;
- наработку в контролируемых функциональных режимах (воспроизведение - $\geq 50\%$ цикла, запись - $\geq 25\%$, остальные режимы - $\leq 25\%$).

Испытания видеоманитофонов проводят с 10-ти часовыми циклами по методу усеченного последовательного контроля, испытания телевизоров установочной серии и серийного производства, а также испытания радиоприемников и магнитофонов проводят по методу однократной выборки (объем выборки $N=50шт.$).

Оценку средней наработки на отказ T_o проводят по результатам электропрогона.

Таблица 8.4

Тип РЭА	Длительность электропрогона, ч
Магнитофоны	500
Приемники	750
Телевизоры (образцы)	750
Телевизоры (серия):	
при $T_o \leq 7500$ ч	15000
при $T_o > 7500$ ч	22500

В начале и конце электропрогона не менее 5 раз проверяется работоспособность всех органов управления и кинематических узлов, а также проверка работы изделия при различных уровнях громкости.

Электропрогон телевизоров проводится при подаче испытательного сигнала, при этом в течение 7 часового цикла подаются напряжения питания в следующей последовательности:

- | | |
|--------------------------|--------------|
| - номинальное | - 3 ч 25мин; |
| - минимально допустимое | - 1 ч 10мин; |
| - максимально допустимое | - 2 ч 15мин. |

При этом предусматривают отключение телевизора на 5 минут после 3 ч 25 мин и 4 ч 40 мин работы, а после 7 ч работы – на 1 ч.

Во время прогона проверяют качество звучания и изображения, устойчивость синхронизации, работу органов управления.

По окончании прогона проверяют:

- чувствительность каналов изображения и звука;
- нелинейные искажения раstra;
- нестабильность размеров изображения;
- разрешающую способность;

Для цветных телевизоров проверяют также:

- неоднородность цветности и свечения по полю экрана;
- погрешность сведения лучей;
- отклонение цветности белого света свечения экрана от интенсивности опорного белого при статическом и динамическом балансах;
- автоматическое включение канала цветности;
- сохранение устойчивости цветовой синхронизации.

Основными документами, которыми руководствуются при испытаниях, являются Госстандарты, ТУ, программа и методика испытаний. Отчётными документами при испытаниях являются журналы учёта результатов испытаний на надёжность, протоколы испытаний или отчёты о надёжности.

В период гарантийного срока эксплуатации бытовой РЭА один раз в квартал в ремонтных предприятиях должны составляться отчёты, высылаемые на заводы-изготовители.

После окончания гарантийного срока обслуживания не ведётся сбор статистики по надёжности, хотя первичная обработка данных на этом этапе эксплуатации имеет большое практическое значение.

Для спецаппаратуры испытания проводятся по своим стандартам (ранее это были отечественные стандарты типа «Мороз», теперь «УХЛ»).

В известных иностранных фирмах (Моторола, Панасоник, Сименс, Advantech и т.д.) система обеспечения качества продукции – неотъемлемая часть как при проектировании, так и при эксплуатации аппаратуры.

Закладывается контроль качества на всех этапах производства, обязательно наличие лаборатории контроля качества, согласование стандартов качества с международными организациями.

Фирма AdVantech проводит контроль своей продукции на соответствие стандартам по приведённым в табл. 8.5 тестам.

Таблица 8.5

Вид теста	Стандарты
ЭМИ	EN50081-1,2; EN55022/11, FCC Part 15
Электростатический пробой	EN50082-1,2; EN61000-4-2
ЭМИ импульс	EN50082-1,2
Электробезопасность	1EC950, EN60950, UL 1950
Воздействие температуры и влажности	1EC-68-2-1,2,61
Вибрация	1EC-68-2-6,36,37
Удары	1EC-68-2-32
Среднее время наработки на отказ	MIL-HD BK-217F
Калибровка входов и выходов	Отслеживается в соответствии с технологическими операциями

Кроме того, имеется тест на падение в транспортной упаковке.

Одним из самых жёстких военных стандартов является стандарт MIL STD 810 США. По этому стандарту изделия РЭА подвергаются воздействиям низкого давления, высокой и низкой температуры, температурному шоку, солнечной радиации, дождю, грязи, вибрациям, ударам и повышенной влажности. Например, все радиостанции Министерства обороны США подвергаются подобным испытаниям для того, чтобы в ответственный момент не было отказов. Фирма «Моторола» тестирует свои радиостанции так, что гарантирует их безотказную работу в течение 3-х лет.

9. Поиск неисправных элементов

Поиск неисправных элементов (ПНЭ) – медленный и утомительный процесс даже для специалистов, поэтому разработка мер по отысканию неисправных элементов сокращает среднюю оперативную готовность и улучшает условия работы обслуживающего персонала.

В схеме РЭА, выполненной на любом уровне деления, должны быть учтены взаимосвязи между элементами питания и преобразования сигналов, поэтому она служит как для изучения принципа действия РЭА, так и для поиска отказов, объединенных названием «обрыв». При таких отказах задача поиска решается успешно, если найден элемент, на входах которого есть сигналы, а на выходах нет.

Отказы типа «перегрузка» находят по срабатыванию защитного устройства.

Распределение указанных отказов дано в табл. 9.1.

Для облегчения поиска, т.е. отыскания места и вида отказа, используются различные диагностические методы и аппаратура, например, при ремонте телевизоров используется прибор «Ласпи-03».

Наиболее распространены способы ПНЭ:

- временного осмотра;
- промежуточных измерений;
- половинного сечения;
- замены.

Таблица 9.1

Вид изделия	Обрыв, %	Перегрузка, %
Трансформаторы сетевые	31	69
Трансформаторы импульсные	75	25
Трансформаторы высоковольтные		100
Электровакуумные приборы	80	20
Сопротивления	44	56
Конденсаторы	23	77
Катушки	82	18
Полупроводниковые приборы	32	68
ИМС	60	40

Первый способ устанавливает наличие изменений внешнего вида элементов (перегрев, течь, искрение, подгорание, разрушение и т. д.). Второй способ заключается в измерении параметров элементов, по результатам которых определяется состояние последних. Третий способ устанавливает работоспособность одного из двух сечений, что позволяет сократить место нахождения неисправности. Четвертый способ предусматривает замену элементов на заведомо исправные элементы, по результатам которой делается вывод об отказе.

При использовании указанных способов обычно применяются таблицы характерных неисправностей и технологические карты ремонта.

В качестве примера на рис. 9.1 дан алгоритм поиска неисправностей в телевизоре.

Дж. Джейкокс [11] на примере телевизора наиболее полно показал шестиэтапный алгоритм ПНЭ в РЭА, приведённый на рис. 9.2.

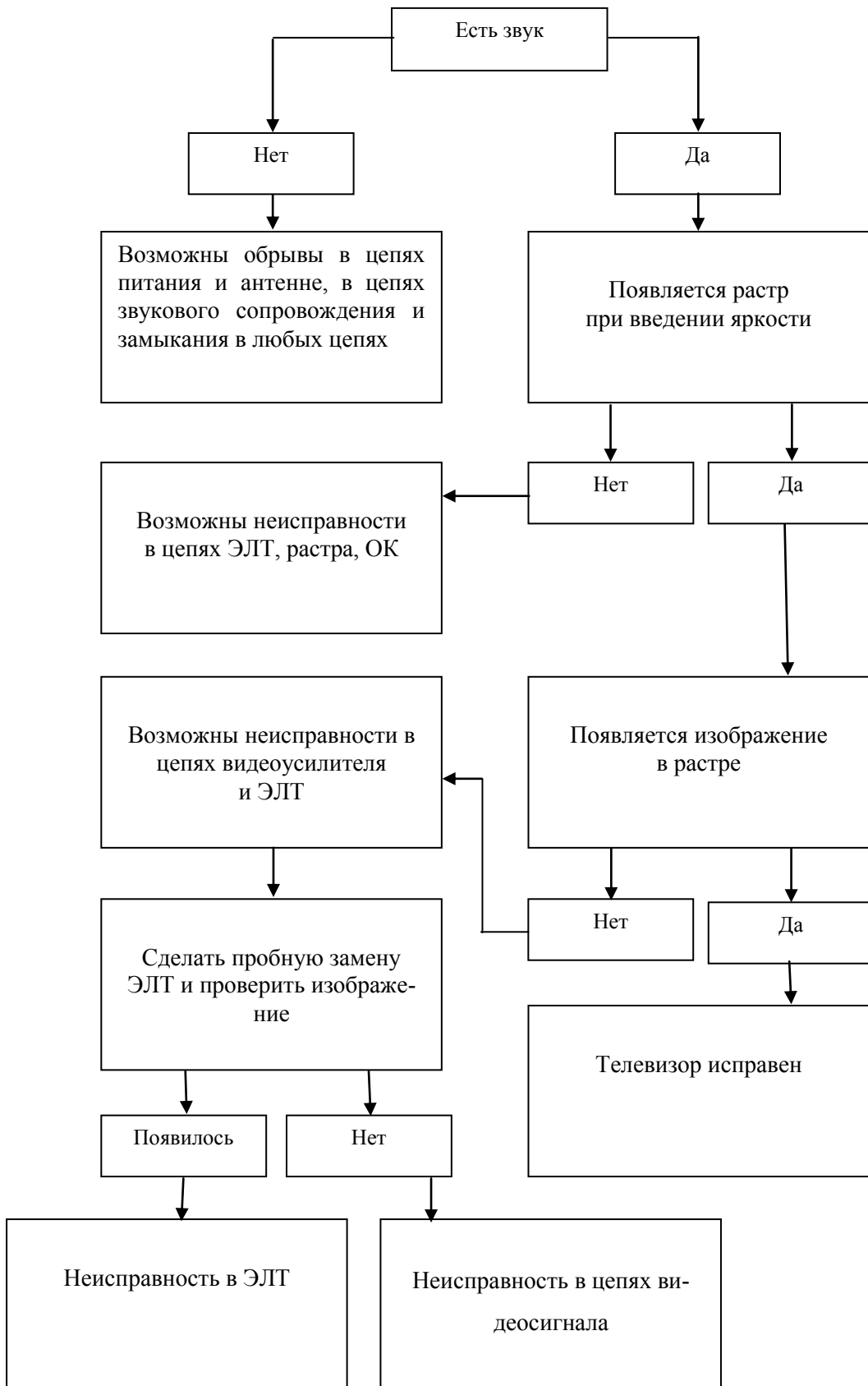


Рис. 9.1

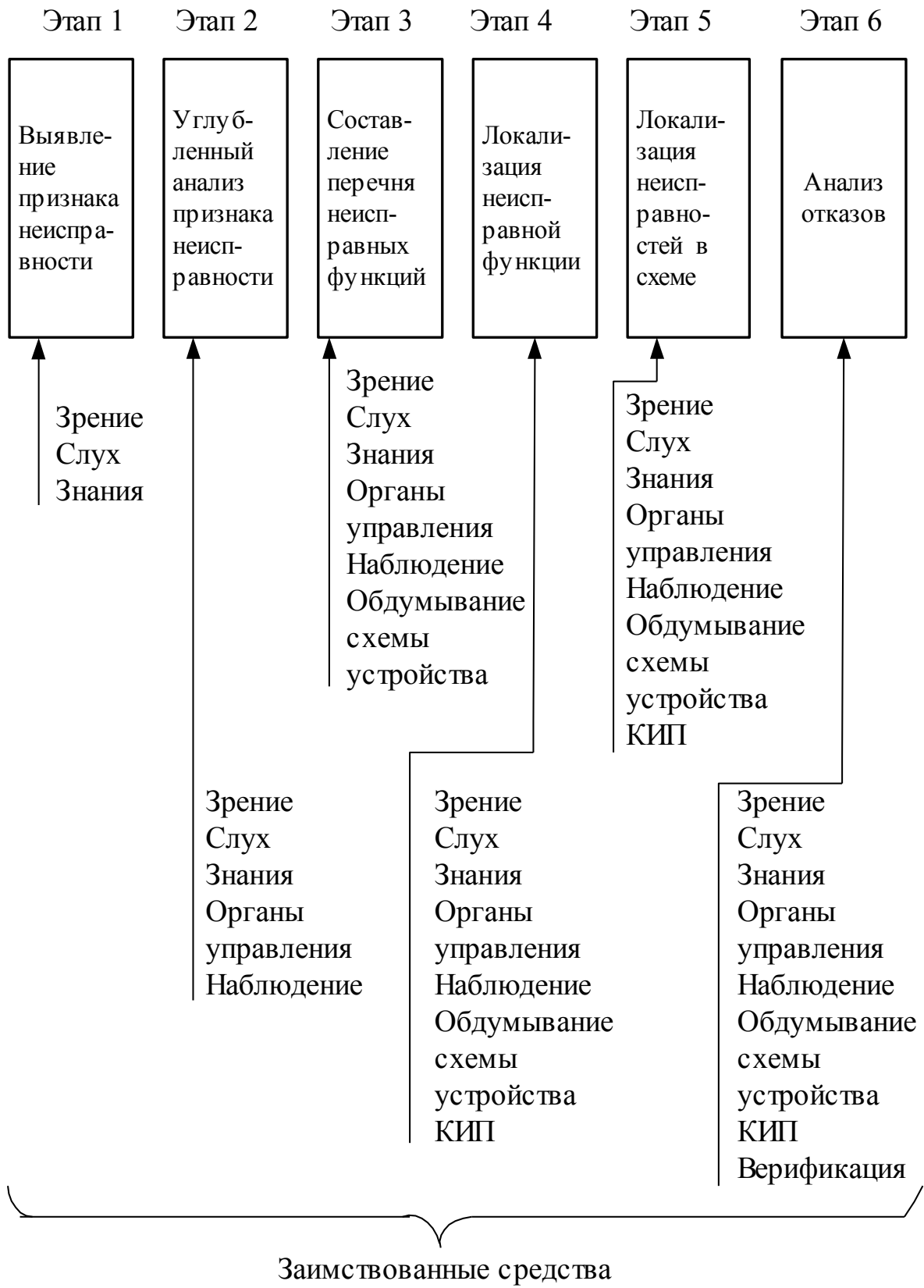


Рис. 9.2

10. Диагностика радиоэлектронной аппаратуры

В настоящее время в аппаратуру встраивают автоматизированную систему контроля (АСК), что значительно упрощает её техобслуживание.

Функции системы контроля следующие:

- 1) классификация РЭА по принципу «функционирует – не функционирует». Для этого она обеспечивает выдачу стимулирующих сигналов для имитации рабочего процесса и режимов работы с точностью примерно в 3 раза лучше контролируемых сигналов, восприятие и формирование значений контролируемых параметров;
- 2) выдача информации о месте отказа с точностью до блока, узла, ячейки, т.е. АСК здесь обеспечивает оценку состояния контролируемых параметров и решения логических задач технической диагностики, связанных с разветвлением программы контроля;
- 3) выдача информации для проведения регулировочных работ. При этом АСК должна выполнить циклические операции контроля с требуемым быстродействием, визуально индицировать о ходе изменения параметра при регулировке;
- 4) выдача информации для предупреждения отказов, т.е. их прогнозирования. Для реализации алгоритма прогнозирования АСК должна измерять действительные значения контролируемых параметров с заданной точностью и регистрировать их в запоминающем устройстве (ЗУ), а также осуществлять при этом вспомогательные операции, например, модификацию команд.

Рассмотрим основные способы построения алгоритмов ПНЭ: последовательный, комбинационный и комбинационно-последовательный. В первом случае состояние отдельных элементов вводятся в АСК, где логически последовательно обрабатываются. В этом случае программа ПНЭ может быть как жесткой, так и гибкой. Во втором случае – результаты контроля логически обрабатываются только после накопления информации обо всех параметрах диагностируемой РЭА, третий случай предусматривает последовательную обработку информации, получаемой в результате одновременного контроля нескольких параметров.

Вид алгоритма (программы) поиска неисправностей влияет на эффективность процесса контроля. При этом решают задачи определения наилучшего набора контролируемых параметров и наилучшей последовательности их измерения.

Наиболее распространенные способы построения алгоритмов ПНЭ:

- 1) последовательного функционального анализа;
- 2) половинного разбиения;
- 3) время – вероятность;
- 4) на основе информационного критерия;
- 5) инженерный;
- 6) ветвей и границ;
- 7) на основе иерархического признака.

Первый алгоритм рассмотрим на примере канала звука телевизора типа УПИМЦТ, функциональная модель (ФМ) которого дана на рис. 10.1, а схема поиска неисправностей приведена на рис. 10.2, где Z – функциональный элемент (ФЭ).

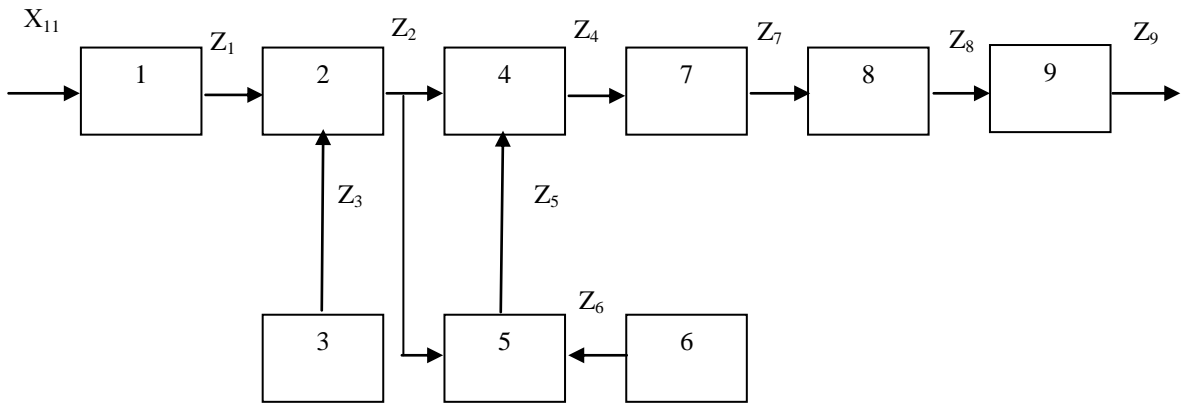


Рис. 10.1

Схему на рис. 10.2 называют деревом функций, а решение ($P_0 - P_8$) представляют в виде матрицы (табл. 10.1).

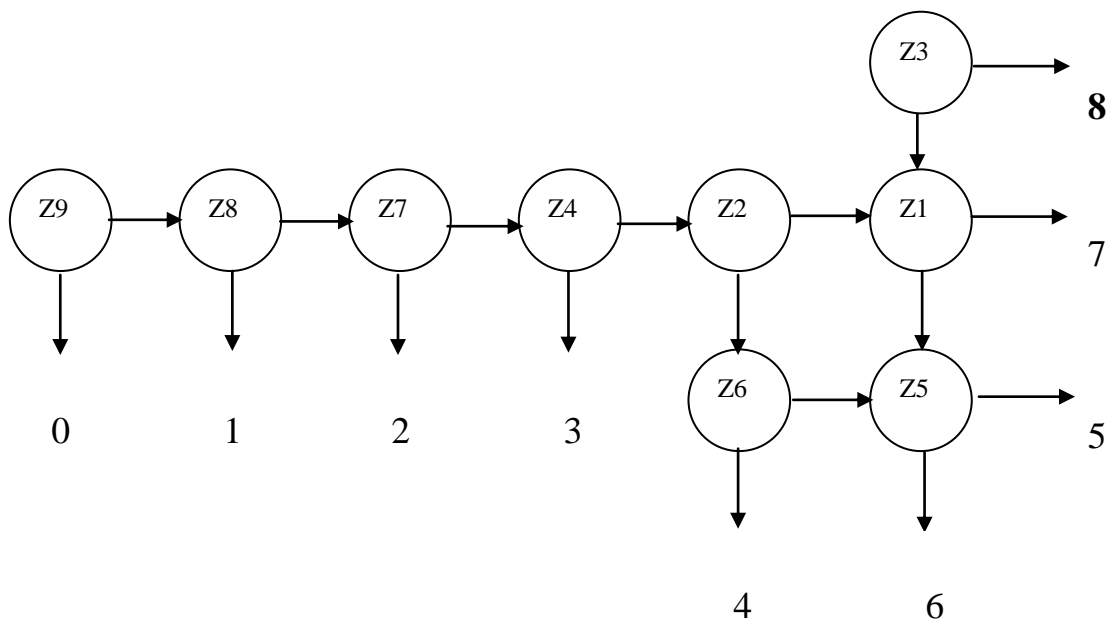


Рис. 10.2

Таблица 10.1

P_0	Канал неисправен
P_1	Неисправен усилитель звуковой частоты
P_2	Неисправен регулятор громкости (РГ)
P_3	Неисправен фильтр
P_4	Неисправна ИМС
P_5	Неисправна схема РГ
P_6	Неисправна ИМС
P_7	Неисправен контур 6,5 МГц
P_8	Неисправен контур частотного детектора

Так как функциями канала звука являются усиление и преобразование сигналов, то, последовательно контролируя сигналы на выходе каждого каскада, определяют неисправный элемент.

Исходными данными для построения ФМ является структурная (функциональная или принципиальная) схема объекта контроля (ОК).

При построении ФМ должны быть известны допуски входных и выходных параметров, их функциональная зависимость и способ контроля.

Функциональный элемент (ФЭ) модели ОК считается исправным, если при всех входных сигналах, лежащих в допустимых пределах, на его выходе появляется сигнал, значение которого не выходит за пределы допуска. При этом если выходной сигнал i -го ФЭ является входным для j -го ФЭ, то их значения совпадают. Линии связи между ФЭ модели считаются абсолютно надёжными и любой ФЭ модели имеет один выходной сигнал при произвольном числе входных сигналов.

ФМ (рис. 10.1) выполняется в виде графической схемы, на которой каждый ФЭ можно соединять с любым числом входов, в то время как вход любого ФЭ может быть соединён только с одним входом.

Число различных состояний ФМ с учётом отказа только одного ФЭ сводится в таблицу состояний (матрицу неисправностей). Последняя представляет собой таблицу, в которой число строк равно числу ФЭ, а число столбцов – числу контрольных точек (выходных элементов). Матрица неисправностей для ФМ канала звука (рис. 10.1) приведена в табл. 10.2.

Матрица неисправностей заполняется на основании логического анализа ФМ. При этом предполагается, что если диагностируемая аппаратура находится в S_i состоянии, то неисправен i -ый ФЭ. Этому событию соответствует недопустимое значение выходного параметра Z_i и тогда на пересечении S_i строки и Z_i столбца записывается символ «0». Если при этом любой другой ФЭ имеет также недопустимое значение Z_j , то на пересечении S_i строки и Z_j столбца также записывается символ «0». Если значение параметра находится в допуске, то на пересечении записывается символ «1».

Таблица 10.2

S_i	Z_i								
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9
S_0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S_1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
S_2	1	0	1	0	0	1	0	0	0
S_3	1	0	0	0	0	1	0	0	0
S_4	1	1	1	0	1	1	0	0	0
S_5	1	1	1	0	0	1	0	0	0
S_6	1	1	1	0	0	0	0	0	0
S_7	1	1	1	1	1	1	0	0	0
S_8	1	1	1	1	1	1	1	0	0
S_9	1	1	1	1	1	1	1	1	0

Полученная матрица неисправностей используется при разработке программы поиска неисправностей. Рассмотренный способ последовательного функционального анализа построения алгоритма контроля работоспособности и поиска неисправностей прост, нагляден, требует минимум информации от диагностируемой аппаратуры. Однако полученный этим способом алгоритм не оптимален ни по времени, ни по средним затратам.

Второй способ используется в РЭА с последовательно соединенными элементами (рис. 10.3).

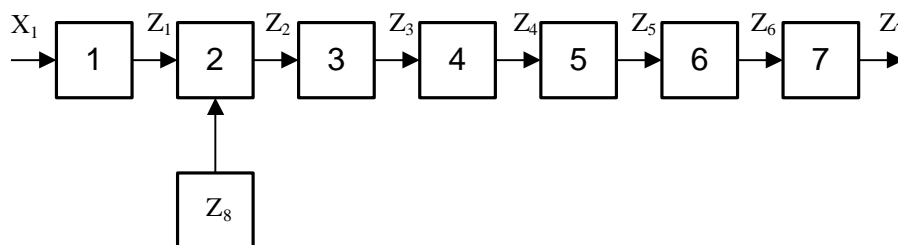


Рис. 10.3

Допустим, что вероятности состояний $P(S_i)$ одинаковы для всех элементов, стоимости контроля выходных параметров Z_i также одинаковы. При этих условиях первым надо контролировать параметр с максимальной информацией о состоянии аппаратуры, неопределенность которого до контроля оценивается величиной энтропии

$$H_0 = -\sum_{i=1}^N P(S_i) \cdot \log_2 P(S_i) = \log_2 N, \quad (10.1)$$

т.е. целесообразно найти такой параметр Z_k , разбивающий изделие пополам, чтобы $H(Z_k) = H_0/2$ при положительных и отрицательных результатах контроля.

Каждый последующий параметр выбирается аналогично.

Пример 10.1. Для устройства (рис. 10.3) вторым способом (способом половинного разбиения) построить алгоритм поиска неисправностей.

Так как устройство состоит из чётного числа ФЭ, первым контролируется параметр Z_3 , разбивающий его пополам. При положительном исходе (Z_3 в допуске) принимаем, что ФЭ 1, 2, 3 и 8 исправны, неисправность находится в ФЭ 4, 5, 6 или 7. При следующем контроле проверяется параметр Z_5 и т.д. При отрицательном исходе контроля параметра Z_3 следующим контролируется параметр Z_2 и т.д. В результате получим схему поиска неисправностей (рис. 10.4).

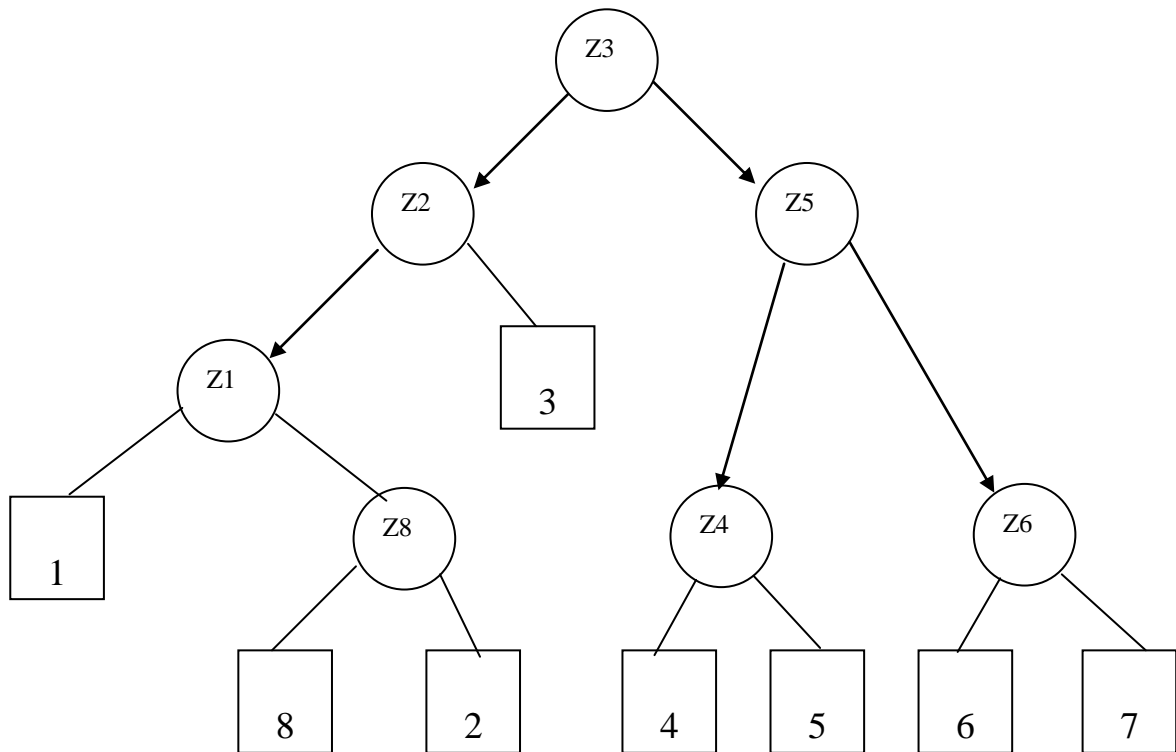


Рис. 10.4

Вероятности состояний $P(S_i)$ для ФЭ не одинаковы, тогда контролируется такой параметр Z_K , который делит ОК на части, вероятности состояния которых близки к 0,5. При этом неопределённость состояния ОК при контроле параметра Z_K будет

$$H(Z_K) = -[P_K \log_2 P_K + (1 - P_K) \log_2 (1 - P_K)] \quad (10.2)$$

где $P_K = \sum_{i=1}^K P(S_i)$; $i=1, 2 \dots$

Величина $H(Z_K)$ будет максимальна, если разность $(P_K - 0,5)$ минимальна.

После контроля параметра Z_K ОК будет разделён на две части: первая содержит K , а вторая – $N - K$ элементов. Проверяется неисправная часть до тех пор, пока состояние ОК не будет определено с заданной глубиной.

Этот способ применим и для случаев, когда в ОК неисправно несколько элементов.

Способ «вероятность – время» находит применение в РЭА с произвольным соединением элементов и различными стоимостями проведения контроля параметров $C(Z_i)$.

Эффективность способа оценивается средним временем поиска неисправного элемента или средним временем контроля одного параметра. Для определения неисправного элемента выбирают набор параметров, обеспечивающих поиск до заданной глубины.

Последовательность контроля параметров устанавливаются в порядке уменьшения величин

$$\frac{P(S_1)}{t_1} > \frac{P(S_2)}{t_2} > \dots > \frac{P(S_N)}{t_M}.$$

Алгоритм, построенный по этому способу, обладает минимальным средним временем поиска любого неисправного элемента.

Пример 10.2. Для ФМ (рис. 10.3) даны:

1. $P(S_1)=0,1$; $P(S_2)=0,25$; $P(S_3)=0,05$; $P(S_4)=0,08$;
 $P(S_5)=0,1$; $P(S_6)=0,15$; $P(S_7)=0,17$; $P(S_8)=0,1$;
2. $t_1=t_4=2$ мин; $t_2=t_6=t_8=0,5$ мин; $t_3=t_5=t_7=1$ мин.

Рассчитываем отношения:

$$P(S_1)/t_1 = 0,1/2 = 0,05; \quad P(S_2)/t_2 = 0,25/0,5 = 0,5;$$

$$P(S_3)/t_3 = 0,05/1 = 0,05; \quad P(S_4)/t_4 = 0,08/2 = 0,04;$$

$$P(S_5)/t_5 = 0,1/1 = 0,1; \quad P(S_6)/t_6 = 0,15/0,5 = 0,3;$$

$$P(S_7)/t_7 = 0,17/1 = 0,17; \quad P(S_8)/t_8 = 0,1/0,5 = 0,2.$$

Располагая в порядке уменьшения величины $P(S_i)/t_i$, получим следующую последовательность контроля параметров:

$$Z_2 \rightarrow Z_6 \rightarrow Z_8 \rightarrow Z_7 \rightarrow Z_5 \rightarrow Z_1 \rightarrow Z_3 \rightarrow Z_4.$$

Способ на основе информационного критерия позволяет выбрать минимальное число контролируемых параметров и определить последовательность их контроля. При этом способе исходные данные задаются в виде ФМ ОК и таблицы неисправностей, которая составляется в виде транспонированной матрицы состояний, где столбцы соответствуют всем возможным состояниям ОК, а строки – параметрам ФЭ. Контроль имеет два исхода: параметр в допуске – 1, или параметр не в допуске – 0.

Инженерный способ построения алгоритмов диагностирования основан на вычислении некоторых функций предпочтения. Исходными данными являются ФМ ОК и таблица неисправностей.

Функция предпочтения выбирается в соответствии с решаемой задачей диагностики и исходными данными. При этом рассматриваются три случая определения перечня параметров:

- для оценки работоспособности;
- для оценки неисправностей;
- для оценки работоспособности и поиска неисправностей.

Последовательность контролируемых параметров выбирается по экстремальным значениям выбранной функции предпочтения. Для удобства решения в матрице состояний строки и столбцы обычно меняют местами. Равенство некоторого ij -го матричного элемента нулю означает, что отказ i -го ФЭ влияет на выходной параметр j -го ФЭ, т.е. контролируя параметры Z_j , можно определить состояние i -го ФЭ. Таким образом, чем больше нулей в строке Z_j матрицы состояний, тем большую информацию несёт данный параметр о состоянии ОК. Отсюда функция предпочтения

$$W_I = \max_{i \in N} W_i(Z_i); \quad W_I(Z_i) = \sum_{j=1}^N S_0(ij), \quad (10.3)$$

где $S_0(ij) = 1$, если состояние ij -матричного элемента описывается нулём и $S_0(ij) = 0$, если состояние ij -матричного элемента описывается единицей.

Первым для контроля берут параметр Z_i , у которого $W_I(Z_i)$ максимальна. В результате контроля матрица состояний делится пополам. В одну часть входят состояния, для которых результаты контроля положительны, а в другую – отрицательные. Так как при оценке работоспособности ОК не требуется определять отдельные состояния, а надо фиксировать только факт неисправности или отказа, то в дальнейшем надо контролировать только первую часть матрицы состояний. Для неё аналогичным образом надо вычислить значение функции предпочтения $W_I(Z_i)$ и выбрать для контроля параметр по максимуму.

Пример 10.3. ОК представлен ФМ (рис. 10.5) и матрицей неисправностей (табл. 10.3). Оценить неисправность ОК.

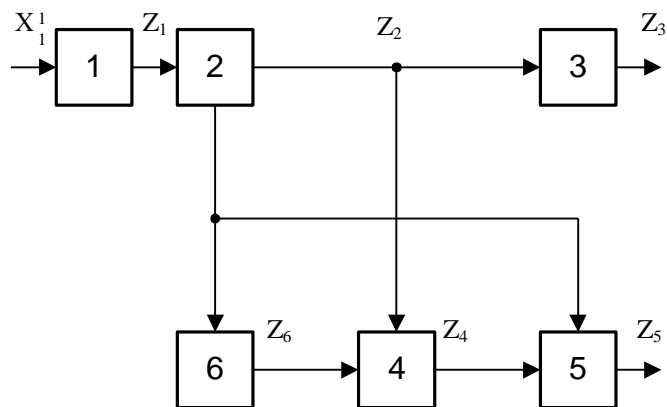


Рис. 10.5

Таблица 10.3

Z_i	S_i					
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Z_1	0	1	1	1	1	1
Z_2	0	0	1	1	1	1
Z_3	0	0	0	1	1	1
Z_4	0	0	1	0	1	1
Z_5	0	0	1	0	0	1
Z_6	0	1	1	1	1	0

Для каждого параметра Z_i табл. 10.3 вычислим функции предпочтения W_i (табл. 10.4).

Таблица 10.4

Z_i	S_i
Z_1	1
Z_2	2
Z_3	3
Z_4	3
Z_5	4
Z_6	2

По максимуму $W_i = 4$ выбираем для контроля параметр Z_5 . В результате этого матрица неисправностей делится на две части:

- в первую часть входят ФЭ 3 и 6, для которых результат контроля положителен;
- во вторую – ФЭ 1, 2, 4 и 5, для которых результат контроля отрицателен, что означает неисправность одного из этих элементов.

Далее контролируем только первую часть матрицы (табл. 10.5).

Таблица 10.5

Z_i	S_i		W_i
	S_3	S_6	
Z_3	0	1	1
Z_6	1	0	1

Для нее вычислим W_i и по её максимуму выберем для контроля параметр Z_3 . В результате оставшаяся часть матрицы (табл. 10.5) разделится на две части: ФЭ 3 – неисправен и ФЭ 6 – исправен. И, наконец, надо контролировать параметр Z_6 .

Способ ветвей и границ используется для синтеза алгоритмов поиска в РЭА с произвольной структурой ФМ. Он позволяет определить наилучшую последовательность поиска. Для этого область возможных решений разбивается на все меньшие и меньшие подмножества, для каждого из которых вычисляется нижняя граница минимизируемой функции. Подмножества, у которых значения нижней границы превышают некоторое значение, исключаются из рассмотрения. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет найдено точное решение, при котором значение минимизирующей функции не превышают нижней границы для любого подмножества.

Для этого способа исходными данными являются ФМ и таблица неисправностей с вероятностями различных состояний и стоимостями контроля выходных параметров ФЭ. При этом в ОК, состоящим из N ФЭ с произвольными связями между ними, достаточно контролировать $m \leq N$ параметров. При этом последовательность контроля этих m параметров будет обладать минимальной средней стоимостью при поиске любого неисправного элемента ОК.

Средняя стоимость произвольной программы поиска неисправностей

$$C = \sum_{i=1}^N C_i \sum_{K=1}^i P(S_K), \text{ или } C = \sum_{i=1}^N P(S_i) \sum_{K=1}^i C_K, \quad (10.4)$$

где C - стоимость контроля i -го параметра;

$\sum_{K=1}^i P(S_K)$ – сумма вероятностей состояний, рассматриваемых при контроле i -го параметра.

Диагностирование начинается с контроля любого i -го параметра, разбивающего всё множество возможных состояний S на два подмножества: $S_0(Z_i)$ и $S_1(Z_i)$, соответствующие отрицательному и положительному результатам контроля параметра Z_i , соответственно.

Последовательность контроля остальных параметров из приведенных подмножеств неизвестна и определить значение средней стоимости

алгоритма поиска невозможно. Поэтому значения средней стоимости заменяются их нижними границами $C_H(S_0)$ и $C_H(S_1)$ при контроле соответствующих параметров в подмножествах $S_0(Z_i)$ и $S_1(Z_i)$. Тогда нижняя граница средней стоимости всей программы поиска, которая начинается с контроля первого параметра, определяется как

$$C_H = C_{i \in N} \sum P(S_i) + C_H(S_0) + C_H(S_1). \quad (10.5)$$

Вычислив $C_H(S_0)$ и $C_H(S_1)$, выбирают такой параметр, контроль которого даёт минимальную среднюю стоимость нижней границы алгоритма поиска. Затем для $S_0(Z_i)$ и $S_1(Z_i)$ вычисляют нижние границы стоимостей для всех возможных пар контролируемых параметров между первым и оставшимся для каждого подмножества.

Пусть для $S_0(Z_i)$ контролируемый параметр Z_K , а для $S_1(Z_i) - Z_J$, тогда

$$C_H = C_{i \in N} \sum_{i \in N} P(S_i) + C_H(Z_K, S_0) + C_H(Z_J, S_1). \quad (10.6)$$

Вторым выбирается такой параметр, при контроле которого обеспечивается минимальная средняя стоимость нижней границы из всех возможных алгоритмов поиска.

Аналогичным образом выбирают третий и последующие параметры, пока получаемые при контроле подмножества, будут содержать более двух состояний ОК.

Пример 10.4. Построить гибкий алгоритм поиска неисправностей ОК, ФМ которой дана на рис. 10.6, а матрица неисправностей в табл. 10.6 с вероятностями состояний $P(S_i)$.

Стоимости контроля всех параметров одинаковы и равны C .

Для вычисления $S_0(Z_i)$ и $S_1(Z_i)$ надо:

- расположить по возрастанию значения вероятностей ОК для $S_0(Z_i)$ и $S_1(Z_i)$;
- просуммировать две наименьшие по вероятности последовательности;
- построить новую последовательность, в которой две наименьшие вероятности заменены суммой.

Процесс построения последовательностей и суммирования вероятностей заканчивают, когда в последовательности остаётся одно значение вероятности. Тогда значение стоимостей нижних границ для $S_0(Z_i)$ и $S_1(Z_i)$ при контроле параметра Z_i будут

$$\left. \begin{aligned} C_H(S_1) &= C \sum_{v=1}^{N-l-1} P_v^* \\ C_H(S_0) &= C \sum_{\lambda=1}^{l-1} P_\lambda^* \end{aligned} \right\}, \quad (10.7)$$

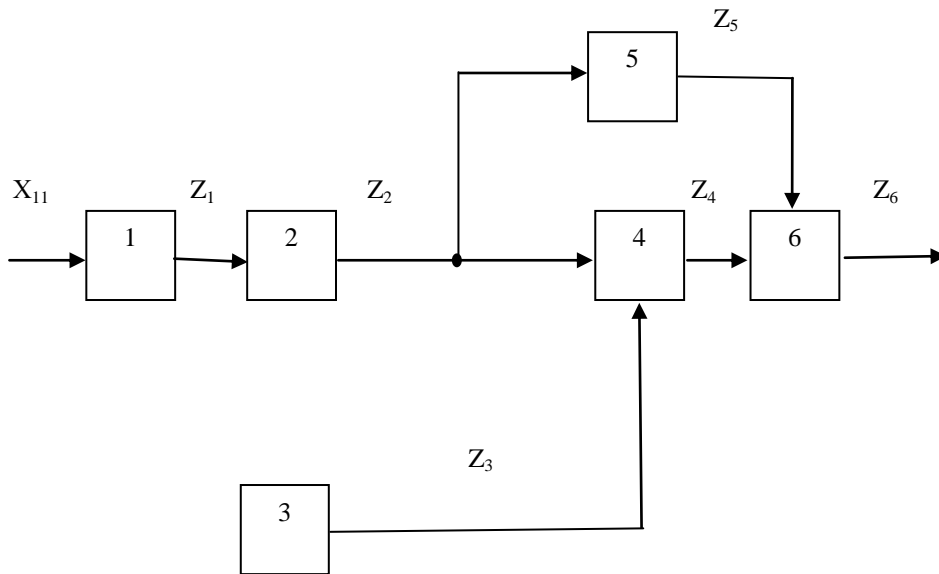


Рис. 10.6

Таблица 10.6

S_i	Z_i						$P(S_i)$
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	
S_1	0	0	1	0	0	0	0,2
S_2	1	0	1	0	0	0	0,05
S_3	1	1	0	0	1	0	0,24
S_4	1	1	1	0	1	0	0,15
S_5	1	1	1	1	0	0	0,06
S_6	1	1	1	1	1	0	0,3

где P_λ^* и P_ν^* – сумма двух наименьших вероятностей состояний λ -й последовательности подмножества $S_0(Z_i)$ и ν -й последовательности подмножества $S_l(Z_i)$ соответственно;

l – число состояний, соответствующих отрицательному результату контроля параметра Z_i .

Следовательно, нижняя граница средней стоимости всего алгоритма поиска (начиная с контроля Z_i) будет

$$C(Z_i) = C \left[\sum_{i \in N} P(S_i) + \sum_{\lambda=1}^{l-1} P_\lambda^* + \sum_{\nu=1}^{N-l-1} P_\nu^* \right]. \quad (10.8)$$

Пусть первым контролируется параметр Z_1 , для $S_0(Z_1) - P(S_1)=0,2$, а для $S_1(Z_1) - P(S_2)=0,05; P(S_5)=0,06; P(S_4)=0,15; P(S_3)=0,24; P(S_6)=0,3$.

Затем находим сумму двух наименьших вероятностей

$$P_1^* = 0,05 + 0,06 = 0,11$$

Составим 2-ю последовательность $P_1^* = 0,11; P(S_4)=0,15; P(S_3)=0,24; P(S_6)=0,3$.

Затем определим $P_2^* = 0,11 + 0,15 = 0,26$.

Составим 3-ю последовательность $P(S_3)=0,24; P_2^* = 0,26; P(S_6)=0,3$.

Затем определим $P_3^* = 0,24 + 0,26 = 0,5$.

Составим 4-ю последовательность $P(S_6)=0,3; P_3^* = 0,5$.

И определим $P_4^* = 0,3 + 0,5 = 0,8$. При этом нижняя граница средней стоимости

$$C_H(Z_1) = C \left[\sum_{i=1}^N P(S_i) + \sum_{\lambda=1}^0 P_{\lambda}^* + \sum_{\nu=1}^{6-1-1} P_{\nu}^* \right] = C(1 + 0 + 0,67) = 2,67C.$$

Разделение множества возможных состояний на два подмножества $S_0(Z_1)$ и $S_1(Z_1)$ при контроле параметра Z_1 дано в табл. 10.6.

При контроле параметра Z_2 множество возможных состояний разбивается на два подмножества $S_0(Z_2)$ и $S_1(Z_2)$ (табл. 10.7).

Таблица 10.7

S_i	Z_i					$P(S_i)$	
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5		
S_1	0	0	1	0	0	0,2	} $S_0(Z_2)$
S_2	1	0	1	0	0	0,05	
S_3	1	1	0	0	1	0,24	} $S_1(Z_2)$
S_4	1	1	1	0	1	0,15	
S_5	1	1	1	1	0	0,06	
S_6	1	1	1	1	1	0,3	

Для $S_0(Z_2) \rightarrow P(S_2)=0,05; P(S_1)=0,2$ и тогда $P_1^* = 0,05 + 0,2 = 0,25$.

Для $S_1(Z_2) \rightarrow P(S_5)=0,06; P(S_4)=0,15; P(S_3)=0,24; P(S_6)=0,3$;

и тогда $P_1^* = 0,21; P_2^* = 0,45; P_3^* = 0,75$.

Нижняя граница средней стоимости при контроле параметра

$$C_H(Z_2) = C \left[\sum_{i=1}^N P(S_i) + \sum_{\lambda=1}^0 P_{\lambda}^* + \sum_{\nu=1}^{6-2-4} P_{\nu}^* \right] = C(1 + 0,25 + 1,41) = 2,66C.$$

Поступая аналогичным образом при контроле параметров Z_3, Z_4, Z_5 , получим нижние границы стоимости: $C_H(Z_3)=2,59C; C_H(Z_4)=2,6C;$

$C_H(Z_5)=2,5C$. Из результатов вычислений следует, что минимальной стоимостью будет обладать алгоритм поиска, начинающийся с контроля параметра Z_5 .

Построим матрицу (табл. 10.8) состояний подмножества $S_0(Z_5)$ и $S_1(Z_5)$

Таблица 10.8

S_i	Z_i					$P(S_i)$
	Z_5	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	
S_1	0	0	0	1	0	0,2
S_2	0	1	0	1	0	0,05
S_5	0	1	1	1	1	0,06
S_3	1	1	1	0	0	0,24
S_4	1	1	1	1	0	0,15
S_6	1	1	1	1	1	0,3

Из табл. 10.8 видим, что в случае отрицательного исхода при контроле параметра Z_3 надо контролировать параметры Z_1, Z_2, Z_4 . Контролировать Z_3 не имеет смысла, так как $S_0(Z_5)$ не разбивается при его контроле на более мелкие подмножества. При положительном исходе надо контролировать параметры Z_3, Z_4 . Таким образом, надо вычислить значения стоимостей нижних границ алгоритма поиска при контроле $Z_5, Z_1, Z_3; Z_5, Z_1, Z_4; Z_5, Z_2, Z_3; Z_5, Z_2, Z_4$.

Вычисляя аналогичным образом значения стоимости нижних границ, получим $C_H(Z_5, Z_1, Z_3)=2,56C$; $C_H(Z_5, Z_1, Z_4)=2,5C$; $C_H(Z_5, Z_2, Z_3)=2,7C$; $C_H(Z_5, Z_2, Z_4)=2,64C$.

Анализ вычисленной стоимости показывает, что минимальной обладает последовательность параметров Z_5, Z_1, Z_4 . Преобразуем таблицу неисправностей в соответствии с результатами контроля параметров Z_5, Z_1, Z_4 (табл. 10.9).

Таблица 10.9

S_i	Z_i					$P(S_i)$	
	Z_5	Z_1	Z_4	Z_2	Z_3		
S_1	0	0	0	0	1	0,2	} $S^{00}(Z_5, Z_1)$
S_2	0	1	0	0	1	0,05	
S_3	0	1	1	1	1	0,24	} $S^{10}(Z_5, Z_4)$
S_4	1	1	0	1	0	0,15	
S_5	1	1	0	1	1	0,06	} $S^{11}(Z_5, Z_4)$
S_6	1	1	1	1	1	0,3	

Из табл. 10.9 видно, что при отрицательном исходе контроля параметров Z_5 , Z_1 выделяется состояние S_1 , а при отрицательном исходе контроля параметра Z_5 и положительном параметра Z_1 надо контролировать параметр Z_2 (так как контроль параметра Z_3 не позволяет разделить подмножество S^{01} на более мелкие).

При положительном исходе контроля параметров Z_5 , Z_4 выделяется состояние S_6 , а при положительном исходе контроля параметра Z_5 и отрицательном Z_4 надо контролировать параметр Z_5 . Так как других вариантов нет, то на этом заканчиваем построение алгоритма поиска неисправностей, обладающего минимальной средней стоимостью (рис. 10.7).

Таким образом, последовательность контролируемых параметров Z_5 , Z_1 , Z_4 , Z_2 , Z_3 даёт среднюю стоимость $C_{CP}=2,5 C$.

Данный способ связан с большим объёмом вычислений, которые значительно возрастают при увеличении ФЭ в диагностируемой аппаратуре.

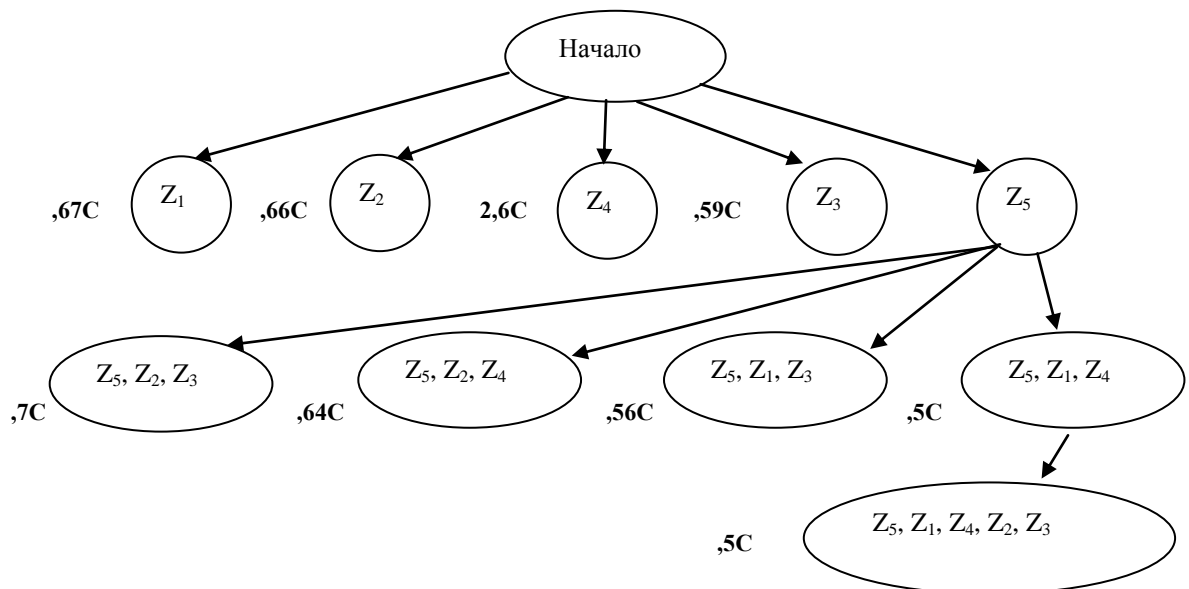


Рис. 10.7

Способ на основе иерархического принципа целесообразен для бытовой РЭА. При этом способе N первичных ФЭ разбиваются на K групп по N_i элементов в каждой группе. Выходные параметры первичных ФЭ объединяются в одной точке с измерительным устройством и индикатором неисправности. Таких индикаторов будет K штук. Последние ещё разбиваются на r -групп по N_2 штук. Выходы N_2 индикаторов снова объединяются в одной точке с одним индикатором. Таких индикаторов будет r штук и т.д. В результате приходим к одному индикатору неисправности. В такой системе при выходе из строя ФЭ ОК индикатор покажет неисправность. Для обнаружения неисправного ФЭ просматриваются показания индикаторов первой ступени и при обнаружении неисправного индикатора просматриваются индикаторы следующей ступени. Проверки продолжаются до тех

пор, пока не будет обнаружен неисправный первичный ФЭ. При одинаковой вероятности отказов ФЭ, одинаковом времени просмотра индикаторов неисправностей и вероятности пропуска неисправного элемента, равной $P(N)=0$, оптимальной по времени, является бинарная схема поиска неисправности.

Из всех остальных способов диагностирования РЭА наиболее эффективными являются интегральные, использующие информацию, получаемую в динамических режимах работы аппаратуры. Интегральные способы основаны на использовании информации, получаемой на основе сравнения измеренных значений параметров ОК с параметрами её идеальной (эталонной) модели.

11. Расчет ремонтпригодности

При аналитическом расчете и простейшем потоке отказов условная вероятность отказа элементов i -ой группы

$$q_i = \lambda_i / \sum_{j=1}^m \lambda_o, \quad (11.1)$$

где λ_i – интенсивность отказов элементов i -ой группы

m – число групп элементов в аппаратуре.

Если обозначить активное время ремонта аппаратуры при отказе элемента i -ой группы как T_{pi} , то среднее время ремонта \bar{T}_p определяется как математическое ожидание

$$\bar{T}_p = \sum_{i=1}^m q_i \bar{T}_{pi}, \quad (11.2)$$

где q_i – вероятность отказа элементов i -ой группы.

Для определения среднего времени ремонта \bar{T}_p надо знать данные о времени ремонта при отказе элементов различных групп, которое зависит от типа отказавшего элемента, блока, ИМС. Оно также зависит от расположения элементов в аппаратуре.

Средняя оперативная продолжительность ремонта T_p складывается из времени поиска неисправного элемента t_0 , среднего времени замены элемента t_3 , среднего времени проверки исправности аппаратуры после замены отказавшего элемента t_{np} , т.е.

$$T_p = t_0 + t_3 + t_{np}, \quad (11.3)$$

Экспериментальная оценка ремонтпригодности по данным эксплуатации или специспытаний. Получение опытных данных при реальной эксплуатации связано с большой продолжительностью. Если данные нужно

получить быстро, то поводят специспытания по плану, в котором предусматривается:

- объем и время испытаний;
- время и условия испытаний;
- режимы работы при испытаниях;
- количественные характеристики ремонтпригодности и диагностическая аппаратура;
- организация испытаний, участники и используемая документация;
- обработка результатов испытаний и форма отчетности.

Объем испытаний считается достаточным, если есть данные по 20-ти отказам.

Зарубежные и отечественные фирмы для ускорения испытаний используют спецстенды, где статистически определяется выборка имитируемых отказов, поочередно вводимых в аппаратуру при условиях, близких к экспериментальным. Последовательность испытаний заключается в воспроизведении имитирующих отказов, в результате чего получается t_o , t_3 и t_{np} .

На основании полученных статистических данных рассчитывают значения ремонтпригодности с заданной точностью и достоверностью, обычно по экспоненциальному закону и закону Эрланга.

Средняя продолжительность ремонта

$$\bar{T}_P = \left(\sum_{i=1}^n \bar{T}_{Pi} \right) / n, \quad (11.4)$$

где T_{Pi} – время ремонта при i -ом отказе.

n – число отказов аппаратуры.

При этом

$$\bar{T}_{Pi} = \sum_{j=1}^{m_p} t_{Pj}, \quad (11.5)$$

где T_{Pi} – среднее время работы при выполнении j -ой операции при I -ом ремонте;

m_p – число операций при выполнении I -го ремонта.

При экспоненциальном распределении времени нижняя и верхняя границы ремонта равны

$$\begin{aligned} \bar{T}_{p.н.} &= \bar{T}_p r_2 ; \\ T_{p.в.} &= \bar{T}_p r_1 . \end{aligned} \quad (11.6)$$

Коэффициенты r_1 и r_2 табулированы и находятся по специальным таблицам или рекомендуются в ремонтной документации на изделие.

Пример 11.1. Есть двухканальная линия связи λ_i и время ремонта имеет экспоненциальное распределение ($\lambda = 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$, $\mu = 1 \text{ ч}^{-1}$).

Найти среднее значение суммарного времени ремонта и доверительный интервал с $P(\epsilon) = 0,99$ за время эксплуатации $t = 2000 \text{ ч}$. Для восстановления есть бригада, вероятность отказа двух каналов одновременно $P_{1,2} = 0,25$, ремонт отказавшего канала требует выключения линии.

Находим наработку на отказ одного канала

$$\bar{T}_0 = 1/\lambda = 1/10^{-2} = 100 \text{ ч}.$$

Находим число отказов в одном, двух каналах и одновременно возникших в двух каналах

$$n_1 = n_2 = \frac{t}{\bar{T}_0} = \frac{2000}{100} = 20 ;$$

$$n_{\Sigma} = 20 \cdot 2 = 40 ; n_{1,2} = 40 \cdot 0,25 = 10 .$$

Находим среднее время ремонта из условия

- 75% всех отказов восстанавливаются за время $\bar{T}_{p1} = 1/\mu = 1 \text{ ч}$;
 - 25% всех отказов восстанавливаются за время
- $$T_{p1,2} = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu} = 2 \text{ ч} .$$

Среднее время ремонта линии

$$\bar{T}_p = (\bar{T}_{p1} \cdot 30 + \bar{T}_{p1,2} \cdot 10) / 40 = \frac{50}{40} = 1.25 \text{ ч} .$$

По табл. 2 и 3 приложения [1 С. 272] находим (при $n = 40$ и $P(\epsilon) = 0.99$) $r_1 = 1.5$ и $r_2 = 0.71$

$$T_{p.н.} = \bar{T}_p \cdot r_2 = 1.25 \cdot 0.71 = 0.88 \text{ ч} ;$$

$$T_{p.в.} = \bar{T}_p \cdot r_1 = 1.25 \cdot 1.5 = 1.87 \text{ ч} ;$$

$$I_{\epsilon} = 0.88 \text{ и } 1.87 \text{ ч}.$$

12. Основы технического обслуживания радиоэлектронных систем

Техобслуживание (ТО) называют комплекс работ для поддержания исправности (работоспособности) РЭА при ее подготовке к использованию по назначению, при хранении и транспортировке.

ТО включает:

- контроль технического состояния;
- профилактическое обслуживание;
- снабжение;
- сбор и обработка результатов эксплуатации.

Первая составляющая проводится для оценки состояния аппаратуры. Основной ТО является вторая составляющая, выполняемая, как правило, в плановом порядке для поддержания аппаратуры в исправном (работоспособном) состоянии, предупреждение отказов при использовании по назначению, т.е. она составляет основу регламентных работ. Снабжение предусматривает получение ЗИПа, материалов, приборов, инструментов. Сбор и обработка результатов эксплуатации проводится для оценки эксплуатационно-технических показателей за определенный период эксплуатации.

Профилактические работы предусматривают:

- внешний осмотр и чистку аппаратуры;
- контрольно-регулирующие работы;
- прогнозирование отказов;
- техосмотры и технические проверки.

Первая составляющая выполняется для выявления внешних признаков неисправностей, проверки правильности установки органов управления, состояния элементов и монтажа. Чистка предусматривает удаление пыли, влаги, коррозии. Наиболее трудоемкой частью являются контрольно-регулирующие работы, включающие контроль установленных допусков на параметры РЭА. Регулирующие работы проводятся для восстановления установленных свойств или работоспособности. Для бытовой РЭА проводятся работы по снижению пожароопасности для телевизоров и восстановлению кинескопов, потерявших эмиссию катодов.

Прогнозирование отказов – предсказание отказов основывается на предположении, что возникновению отказов предшествует постепенное изменение параметров аппаратуры или элемента. Оно осуществляется для постепенных отказов в целях своевременной замены соответствующих элементов, блоков.

Сезонные, смазочные, крепежные работы проводятся для подготовки РЭА к эксплуатации в определенное время года. При сезонных работах проводятся мероприятия по уменьшению проникновения влаги, по утеплению (зимой) и охлаждению (летом) аппаратуры, используют спецмасла и т.д. Смазочные работы предусматривают либо наполнение, либо полную замену масел в движущихся механизмах. Крепежные работы включают проверку крепежных деталей (болтов, гаек и т.д.), их крепление, постановку и смену неисправных деталей.

Профилактическое обслуживание включает три этапа:

- 1) работы на обесточенной аппаратуре (внешний осмотр и чистка аппаратуры при сезонных, смазочных и крепежных работах);
- 2) работы под током (проверка узлов, блоков, работоспособности аппаратуры, регулировка и подстройка параметров);

3) контроль функционирования РЭА (проверка работоспособности, отладка и проверка основных параметров аппаратуры в целом).

На каждом этапе обслуживания проводятся операции по поддержанию аппаратуры в исправном (работоспособном) состоянии. При этом регламентные работы отличаются уровнем обслуживания, а при определении объема и периодичности проведения регламентных работ учитывают два противоречивых требования:

- 1) профилактические работы повышают надежность;
- 2) профилактические работы ведут к простоям аппаратуры и снижают коэффициент готовности и несут экономические потери.

Поэтому при организации профилактических работ обеспечивают поддержание надежности аппаратуры на заданном уровне и предусматривают минимальную стоимость и время их выполнения, а также планируют выполнение работ наиболее простыми способами. Объем и периодичность профилактических работ регламентируется специнструкциями, например, формуляром. Периодичность назначают исходя из времени работы аппаратуры или календарного срока эксплуатации, при этом учитывается способ использования аппаратуры. Для аппаратуры разового действия характерны:

- хранение;
- подготовка к использованию по назначению;
- использование по назначению.

Непрерывно работающая аппаратура используется по целевому назначению в течение суток (части суток), например, БРЭА. Дежурная аппаратура используется непродолжительное время, например, РЛС, радиостанция и т.д.

Так как при эксплуатации РЭА возникают внезапные и постепенные отказы, то при выборе периода выполнения профилактических работ имеют в виду, что его сокращение повышает надежность, но при этом увеличивается объем и время профилактики, приводящее к уменьшению коэффициента технического использования

$$K_{ТИ} = T_{О\Sigma} / (T_{О\Sigma} + T_{Р\Sigma} + T_{ТО\Sigma}), \quad (12.1)$$

где $T_{О\Sigma}$ – суммарная наработка на календарное время t_k ;

$T_{Р\Sigma}$ – суммарное время ремонтов за t_k ;

$T_{ТО\Sigma}$ – суммарное время профилактических работ за t_k .

В качестве критерия для выбора оптимального периода проведения профилактических работ принимают коэффициент простоя $K_{П}$

$$K_{П} = \tau_{ТО} + T_{ТО} - T_{ОП}, \quad (12.2)$$

где $\tau_{ТО}$ – время между профилактиками;

T_{TO} – средняя продолжительность профилактики;
 T_{OP} – наработка объекта (изделия) между двумя профилактиками.
 Для принятого экспоненциального распределения отказов

$$T_{TO} = \sqrt{2T_O T_{OP}} .$$

Соотношение между временем включенного и выключенного состояния характеризуется коэффициентом интенсивности эксплуатации

$$K_H = \sum_{i=1}^{n_B} t_i / t_k , \quad (12.3)$$

где t_i – время работы аппаратуры при i -ом включении;

n_B – число включений за t_k ;

t_k – календарное время работы аппаратуры.

Из (12.3) следует, что K_H можно определить как вероятность нахождения аппаратуры во включенном состоянии, т.е. вероятность нахождения аппаратуры в выключенном состоянии равна $1-K_H$. Тогда пренебрегая отказами в выключенном состоянии, получаем

$$\tau_{TO} = \sqrt{2T_{TO} / K_H \lambda_{II}} , \quad (12.4)$$

где λ_{II} – интенсивность отказов при проведении профилактики.

Рост качества РЭА за счет микроминиатюризации, ИМС и цифровой техники позволил резко повысить надежность аппаратуры и расчет периодичности профилактики по вышеупомянутым формулам будет завышенным.

Для совершенной аппаратуры используют формулу

$$\tau_{TO} = K_{CT} \sqrt{2T_{TO} / K_H \lambda_{II}} , \quad (12.5)$$

где K_{CT} – коэффициент, учитывающий стабильность параметров аппаратуры по результатам эксплуатации или специспытаний для разовой и непрерывной аппаратуры.

Формулу (12.5) можно также использовать для дежурной аппаратуры, работающей небольшую часть под током.

Для аппаратуры разового действия

$$\tau_{TO} = \sqrt{2T_{TO} / \lambda_{XP}} , \quad (12.6)$$

где λ_{XP} – интенсивность отказов в режиме хранения, в котором проводится профилактика ($\lambda_{XP} \approx 10^{-3} \lambda_i$).

Средняя продолжительность техобслуживания, определяемая количеством контролируемых и регулируемых параметров, определяется как

$$T_{TO} = \sum_{i=1}^{m_n} T_{TOi}, \quad (12.7)$$

где T_{TOi} – среднее время выполнения i -ой операции;
 m_n – число операций при одной профилактике.

Пример 12.1. Приемник при проведении профилактики длительностью $T_{TO} = 6$ ч имеет интенсивность отказов $\lambda_{\Pi} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, коэффициент интенсивности эксплуатации $K_H = 0,2$. Найти время между профилактиками τ_{TO} .

Решение

$$\tau_{TO} = K_{CT} \sqrt{2T_{TO}/K_H \lambda_{\Pi}} = \sqrt{2 \cdot 6 / 0,2 \cdot 1,25 \cdot 10^{-4}} = 693 \text{ ч}.$$

Пример 12.2. Нарботка на отказ при экспоненциальном законе надежности и без проведения профилактики $T_0 = 300$ ч. При профилактике в течение $T_{T.O.} = 5$ ч. наработка на отказ составила 700 ч. Среднее время ремонта $T_p = 6$ ч, $K_H = 0,25$, интенсивность отказов в выключенном состоянии $\lambda_{\text{выкл}} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}$, во включенном – $\lambda_{\text{вкл}} = 3,33 \cdot 10^{-3} \text{ ч}$. Найти τ_{TO} , K_{Γ} и $K_{O\Gamma}$ для $t = 2$ ч без профилактики и при ее проведении.

Решение

$$1) \tau_{TO} = \sqrt{2T_{TO}/K_H \lambda_{\text{вкл}} + (1 - K_H) \lambda_{\text{выкл}}} = \sqrt{2 \cdot 5 / [0,25 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3} + 0,75 \cdot 2 \cdot 10^{-6}]} = 110 \text{ ч}.$$

$$2) \text{ Без профилактики } K_{\Gamma} = T_0 / (T_0 + T_p) = 300 / 306 = 0,98,$$

$$K_{O\Gamma} = K_{\Gamma} P(t) = 0,98 \exp(-0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 2) = 0,98 \cdot 0,994 = 0,974.$$

$$3) \text{ С профилактикой } K_{\Pi\Pi} = 700 / 706 = 0,991,$$

$$K_{O\Pi\Pi} = 0,991 \exp(-1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2) = 0,991 \cdot 0,997 = 0,988.$$

13. Состав и требования к документации по техническому обслуживанию и ремонту радиоэлектронных систем

Документация включает руководство по эксплуатации (РЭ) и ремонтно-техническую документацию (РД).

Под техническим обслуживанием (ТО) понимается выполнение регламентных работ и устранение неисправностей в процессе эксплуатации РЭС. Оно проводится пользователем или специалистами ремонтного предприятия в объёме РЭ и с использованием встроенной диагностической аппаратуры, переносных стендов, приспособлений и инструмента и КИП.

Под словом «ремонт» понимается категоризованный ремонт, аналогичный среднему ремонту с целью устранения неисправностей и восстановления межремонтного ресурса изделия до следующего ремонта. Ремонт осуществляется специалистами ремонтного предприятия. Основной объём ремонта выполняется в соответствии с руководством по ремонту с использованием диагностического оборудования, специнструмента, приспособлений и КИП. Документация РЭ и РД должна отражать четырёхуровневое обслуживание:

- первый уровень производится пользователем и включает диагностику и исправление неисправностей РЭС, включая сборки механических и гидравлических узлов;
- второй уровень производится персоналом поддержки ремонтных предприятий и включает тестирование изделий, их настройку, а также работы, требующие применения испытательного оборудования, например, для юстировки антенн;
- третий уровень производится персоналом ремонтного предприятия и касается областей, в которых требуется специальная промышленная квалификационная основа для таких работ, как ремонт печатных плат, и работ с применением испытательных стендов и тестового оборудования;
- четвертый уровень производится на промышленной базе, в тех случаях, когда для выполнения особого вида ремонта требуется дорогостоящая производственная инфраструктура.

Обеспечение запчастями осуществляется за счёт складов, на которых лежит ответственность по расходу и восполнению запчастей. На третьем и четвертом уровнях обслуживания осуществляются меры по проверке программных средств и внедрению новых версий программного обеспечения.

Технические руководства должны представлять собой набор документов, независимых от ЭД, и быть рассчитаны на использование квалифицированным персоналом для диагностики, устранения неисправностей и дефектации РЭС и перекрывать все виды обслуживания от простого устранения неисправностей до проведения планового ремонта.

Техническое руководство должно состоять из подробного описания РЭС с полным пониманием принципов конструкции и работы РЭС. Для тех РЭС, в которых используются печатные платы, модули, ячейки, описа-

ние должно охватывать группу печатных плат, модулей, ячеек с детальным их освещением и представлением принципиальных схем.

Описания должны раскрывать общую идеологию конструкции, функциональное описание, схемы прохождения сигналов, схемы взаимных соединений и расположения элементов, схемы управления и временные диаграммы управляющих сигналов, схемы входных и выходных сигналов, схематические изображения механических сборок и узлов.

РЭ должно содержать вспомогательную информацию для пользователя по периодическому обслуживанию, а также информацию по программному обеспечению. Кроме того, РЭ включает в себя процедуры калибровки и юстировки, инструкции по обслуживанию механических и электромеханических устройств, допустимые пределы параметров и последовательности действий для диагностики и локализации неисправностей.

В инструкции по обслуживанию включаются работы по разборке и сборке всех блоков, методики проведения испытаний, настройки и юстировки устройств, параметры каждого блока, описания тестового испытательного оборудования.

Сводная спецификация РЭС должна отражать весь перечень составных узлов, запчастей и принадлежностей, испытательных стендов и вспомогательных устройств.

Документация по печатным платам должна содержать:

- принципиальные схемы;
- схемы расположения элементов;
- схемы прохождения сигналов;
- блок-диаграммы с приведением входных и выходных сигналов;
- функциональные схемы прохождения и преобразования сигналов;
- временные диаграммы, тестовые точки и перечни последовательностей операций программирования для всех программируемых компонент.

Руководство по ремонту печатных плат должно содержать:

- инструкции по проведению ремонта плат, модулей, ячеек с помощью автоматического диагностического и ремонтного оборудования, совместно с соединителями и переходниками;
- идентификационный номер программного обеспечения.

Документация по программному обеспечению включает описание, справочник пользователя, инструкции по обслуживанию, исходники программ, например, на языке «Ассемблер» или на языке высокого уровня с комментариями, тестовые процедуры, программы и данные тестирования.

Описание должно включать:

- представление о решаемой с помощью программного обеспечения задаче;
- его структуру;
- описание интерфейса с аппаратной частью;
- иметь карты входных и выходных сигналов;

- таблицы прошивки и использования памяти;
- описания структуры прерываний;
- методы передачи данных и обнаружения ошибок;
- описания электрических и механических интерфейсов;
- номер версии.

Справочник пользователя должен содержать:

- физическое описание программного обеспечения с точки зрения того, что должен видеть оператор (со ссылкой на выключатели, органы управления и т.д.);
- рабочую процедуру;
- процедуры диагностики в режиме реального времени и в режиме с разделением времени.

Документация по обеспечению запчастями используется как пользователем, так и складом хранения запчастей, и представляет собой перечень заменяемых компонент, номера деталей и номера версий. Эта документация представляется в форме базы данных на дискете или в виде диска CD-ROM.

Программа испытаний содержит параметры тестирования и процедуры проведения испытаний на ремонтном предприятии или на промышленной базе и включает комплект схем разводки кабелей, проводов на РЭС, показывающих соединения как внутри устройств, так и между ними, а также взаимные соединения между РЭС.

Инструкция по монтажу содержит информацию по монтажу оборудования на объекте и включает в себя:

- данные по размерам, источникам питания, по интерфейсам;
- требования по охлаждению, вентиляции;
- данные по фундаментам, основаниям, переборкам и креплению;
- требования по окраске, пожаробезопасности и экранированию от воздействия электрических полей;
- перечень кабелей, волноводных трактов, средств крепления и других монтажных материалов;
- перечень специальных инструментов;
- специальные инструкции.

Процедуры настройки и испытаний дают описание соединений, проведения испытаний, юстировки, тестирования и настройки РЭС. Комплектность документов по обслуживанию и ремонту устанавливается в соответствии с ГОСТом и содержит:

- техническое описание и сведения, необходимые для правильного использования изделия;
- руководство по техобслуживанию и текущему ремонту, в том числе по обслуживанию и восстановлению программного обеспечения;
- инструкцию по хранению и транспортированию;
- инструкцию по оценке технического состояния изделия;
- типовой перечень запчастей.

Комплект документов для ремонта включает:

- ремонтные документы;
- упрощенный комплект конструкторской документации;
- эксплуатационные документы.

Ремонтные документы включают:

- руководство по ремонту, в том числе по ремонту печатных плат;
- технические условия на ремонт;
- инструкции по монтажу (демонтажу) и разборке (сборке) изделия, наладке, регулировке и испытаниям блоков и агрегатов РЭС;
- ведомость ЗИП на ремонт;
- нормы расхода запчастей на ремонт;
- перечень оборудования, приборов, приспособлений и инструментов для ремонта и т.д.;
- ведомость документов для ремонта.

Комплект конструкторской документации содержит необходимые документы для ремонта, в том числе по антенным постам, приводам, по РЭС с чертежами габаритными, монтажными чертежами и схемами, схемами соединений и подключений, а также общую спецификацию всех комплектующих элементов и перечнем покупных изделий (трансформаторов, дросселей и т.п.). При необходимости приводятся данные обмоток, а также другие необходимые данные, например таких, как схемы расположения элементов на печатных платах, схемы подключения плат, схемы принципиальные.

Руководство по ремонту включает:

- методики проверки изделия и его составных частей;
- описание способов полного выявления неисправных сборочных единиц и узлов изделия;
- методы восстановления (ремонта) или замены неисправных сборочных единиц и деталей, восстановления ресурса отремонтированного изделия;
- требования к проведению комплексных проверок;
- требования стандартов по безопасности труда, исключению из применения взрывоопасных веществ, токсичных жидкостей и газов.

Схема технологического процесса включает следующие виды работ:

- дефектацию изделия на объекте;
- демонтаж неисправных составных частей и изделия в целом;
- разборку демонтированных составных частей и изделия в целом;
- очистку сборочных узлов и деталей от смазки, грязи, коррозии;
- дефектацию узлов и деталей;
- восстановление защитных покрытий сборочных единиц, деталей и элементов;
- технический контроль качества ремонта;
- проверку средств измерений;
- монтаж составных частей изделия;

- регулировку, испытания и сдачу изделия в эксплуатацию.

14. Общие положения о комплектации радиоэлектронных систем ЗИПом

ЗИП предназначен для успешного проведения ТО и повышения работоспособности аппаратуры. Он должен содержать все необходимые в процессе эксплуатации элементы. Однако создание больших запасов элементов не рационально, так как при этом замораживаются огромные средства и дефицитные элементы. Так годовая стоимость ЗИПа для цветных телевизоров в СССР составляла примерно 40% стоимости работ по ТО и ремонту, поэтому его комплектующие и оптимизация являются важной проблемой при обслуживании РЭА.

ЗИПы подразделяются на комплекты:

- одиночный;
- групповой.

Первый придается для обеспечения одного изделия, второй – для группы изделий и пополнения одиночных комплектов, а также для обеспечения элементами, которых нет в одиночном комплекте ЗИПа. В процессе эксплуатации РЭА неремонтируемые элементы, ячейки, блоки после отказа списываются, а ремонтируемые – восстанавливаются на месте или в ремонтных органах.

В зависимости от вида и назначения РЭА могут быть три схемы обеспечения элементами:

- нормальная (есть одиночный и групповой комплекты);
- одиночная (групповой комплект отсутствует);
- групповая (одиночный комплект отсутствует).

Для бытовой РЭА принята групповая схема. Отсутствие элементов в ЗИПе приводит к увеличению среднего времени ремонта:

$$T_{т.р} = T_p + T_a + T_{сп} , \quad (14.1)$$

где T_p – средняя продолжительность ремонта;

T_a – административное время при текущем ремонте (т.р.);

$T_{сп}$ – среднее время простоя из-за отсутствия элемента (время снабжения).

ЗИП влияет на

$$K_r = T_0 / (T_0 + T_p + T_a + T_{сп}) , \quad (14.2)$$

обозначив $T_p + T_a = T_n$ – среднее время ремонта при неограниченном комплекте ЗИПа, получим

$$K_r = T_0 / (T_0 + T_n + T_{сп}) \quad (14.3)$$

или после преобразования

$$K_z = [T_0 / (T_0 + T_n)] (T_0 + T_n) / (T_0 + T_n + T_{ск}) = K_{zn} \cdot K_{об} , \quad (14.4)$$

где K_{zn} – коэффициент готовности при неограниченном комплекте ЗИПа, $K_{об}$ – коэффициент обеспечения аппаратуры запчастями.

Из (14.4) вытекает, что $K_{об}$ – существенно влияет на K_r аппаратуры и показывает степень его уменьшения в результате расходования ЗИПа.

Для бытовой РЭА $K_{об}$ влияет на срок ремонта, качество ТО, рост реализации услуг населению.

Так как при ремонте и ТО РЭА проводится замена ремонтируемых и неремонтируемых элементов, номенклатура ЗИПа должна содержать и те, и другие элементы.

Время отсутствия элемента в ЗИПе считают временем ремонта ЗИПа, состоящим из времени доставки и времени ожидания замены или ремонта.

Так как процесс отказа элементов аппаратуры является случайным, то комплект ЗИПа должен обеспечить аппаратуру всеми элементами с определённой вероятностью.

Расчёт потребного числа элементов ЗИПа проводится с учётом потока отказов элементов включенной и выключенной аппаратуры, а также находящихся при хранении.

С учётом того, что время обслуживания одного требования подчинено экспоненциальному закону с математическим ожиданием времени обслуживания $T_{об}$, т.е. допустимая вероятность простоя ремонтируемых элементов в ожидании ремонта

$$P_n(p) = 1 - e^{-p \sum_{s=0}^{n_3} p^s / s!} , \quad (14.5)$$

где n_3 – необходимое число запасных элементов ЗИПа, (s изменяется от 0 до n_3).

Для расчёта задаются допустимой вероятностью простоя в ожидании ремонта и по таблицам функций $\sum_{s=0}^n e^{-p} (p^s / s!)$ в [1] при известном p находят значение n_3 (табл. 14.1).

Таблица 14.1

	$P_{II}(p) = 0.15$									$P_{II}(p) = 0.05$								
p	0,5	1	2	4	6	8	10	20	30	0,5	1	2	4	6	8	10	20	30
n_3	2	3	4	6	8	10	12	20	30	3	4	5	8	11	13	15	27	39

Пример 14.1. Рассчитать число запасных элементов одной группы для ремонта $N_0 = 2000$ комплектов аппаратуры с $P_{II}(p) = 0,05$. Среднее время ремонта элемента ЗИПа $t_p = 50$ ч (время отсутствия элемента в ЗИПе). Интенсивность отказов элемента этой группы $\lambda = 2 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, коэффициент интенсивности эксплуатации $K_{II} = 0.5$.

Решение

1) Пренебрегая отказами аппаратуры в выключенном состоянии и при хранении элементов ЗИПа, найдём суммарный поток отказов

$$\lambda_c = K_{II} \lambda N_0 = 0.5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}.$$

2) Значение $p = t_p \lambda_c = 50 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 1$.

3) По табл.14.1 при $P_{II}(p) = 0,05$ и $p = 1$ находим $n_3 = 4$.

Для неремонтируемых элементов при значениях $P_{II}(n) = 0.15$ расчёт необходимого числа запасных элементов определяют по формуле

$$n_3 \approx n_{cp} = \lambda_c t, \quad (14.6)$$

где λ_c – суммарный поток отказов элементов одной группы (одного типа).

Для расчёта коэффициента запаса $K_3 = n_3 / n_{cp}$ при определённом значении $P_{II}(t)$ пользуются табл. 14.2. [1].

Таблица 14.2

$P_{II}(t)$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
K_3	1	1,02	1,03	1,04	1,06	1,1	1,16	1,25

Рассмотренные выше формулы позволяют рассчитать число запасных элементов одной группы с заданной вероятностью простоя. Так как в РЭА всегда имеется несколько групп элементов, то для определения их числа надо разделить общую вероятность простоя по группам элементов, т.е.

$$P_{o\bar{o}} = \sum_{i=1}^k P_{\Pi_i} q_i , \quad (14.7)$$

где $P_{o\bar{o}}$ – общая вероятность простоя, P_{Π_i} – вероятность простоя из-за отсутствия запасного элемента i – ой группы, q_i – вероятность отказа элемента i – ой группы.

На практике часто пользуются противоположным событием и вычисляют вероятность выполнения аппаратурой своих функций при наличии ЗИПа

$$P_s(t) = 1 - P_{o\bar{o}} = \prod_{i=1}^k (1 - P_{\Pi_i}) = \prod_{i=1}^k P_{S_i}(t) . \quad (14.8)$$

Пример 14.2. 100 комплектов ($N_0 = 100$) РЭА предполагается эксплуатировать в течение $t = 3000$ ч. Каждый комплект содержит: модулей $N_1 = 6$ шт, ИМС $N_2 = 15$ шт и полупроводниковых приборов (п/п) $N_3 = 10$ шт. В результате предварительных испытаний элементов получены значения:

$$\lambda_1 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} , \lambda_2 = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1} , \lambda_3 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} .$$

Найти число n_3 запасных элементов отдельно по всем элементам, если требуется гарантированная вероятность работы системы за счёт элементов каждого типа $P_c(t) = 0,95$.

Найти гарантированную вероятность работоспособности системы при полном использовании всех запасных элементов.

Решение

1) Находим $\lambda_1 = N_0 N_1 \lambda_1 = 100 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 10^{-5} = 0,54$;

$$\lambda_2 = N_0 N_2 \lambda_2 = 100 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 1,2 \cdot 10^{-3} ;$$

$$\lambda_3 = N_0 N_3 \lambda_3 = 100 \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-5} = 1,6 \cdot 10^{-2} .$$

2) Находим среднее число запасных элементов

$$n_{cp1} = \lambda_1 t = 0,54 \cdot 3 \cdot 10^3 = 162 \quad (\text{микромодуля});$$

$$n_{cp2} = \lambda_2 t = 4 \quad (\text{ИМС});$$

$$n_{cp3} = \lambda_3 t = 48 \quad (\text{п/п приборов}).$$

3) По формуле для $P_{II}(t) = 0,05$

$$(K_3(20 < n_{cp} \leq 70)) = (2 + 1,1n_{cp}) / n_{cp} ,$$

$$K_3(4 < n_{cp} \leq 20) = (2 + 1,24n_{cp}) / n_{cp} ,$$

$$K_3(n_{cp} \geq 70) = (10 + 1,06n_{cp}) / n_{cp})$$

находим коэффициент запаса

$$K_{31} = (10 + 1,06 \cdot 162) / 162 = 1,12 ;$$

$$K_{32} = (2 + 1,24 \cdot 4) / 4 = 1,74 ;$$

$$K_{33} = (5 + 1,12 \cdot 48) / 48 = 1,22 .$$

4) Находим

$$n_{31} = n_{cp1} \cdot K_{31} = 162 \cdot 1,12 = 18 \quad (\text{модуль});$$

$$n_{32} = n_{cp2} \cdot K_{32} = 4 \cdot 1,74 = 7 \quad (\text{ИМС});$$

$$n_{33} = n_{cp3} \cdot K_{33} = 48 \cdot 1,22 = 58 \quad (\text{п/п}).$$

15. Организация технического обслуживания и ремонта радиоэлектронных систем

Фирменное обслуживание РЭА является составной частью мероприятий, реализуемых изготовителями аппаратуры и включающих в себя программы улучшения потребительских качеств РЭА, совершенствования процесса её создания и производства, гарантийного и послегарантийного обслуживания, ремонта и утилизации.

Сервисный центр по обслуживанию и ремонту РЭА включает производственные объединения, предприятия по ремонту узлов и блоков, централизованные склады запчастей, техноцентры и фирменные магазины, а также учебные центры по подготовке специалистов.

Основная задача предприятий, осуществляющих техническое обслуживание:

- приёмка бытовой РЭА от фирм-изготовителей при поступлении её после транспортирования в торговую сеть;
- принятие на себя ответственности за качество поступаемой в продажу аппаратуры;
- предоставление максимальных удобств населению при покупке и эксплуатации РЭА;

- поддержание парка аппаратуры в работоспособном состоянии в течение срока службы, с установленной жёсткой материальной ответственностью обслуживающих фирм за своевременное и качественное выполнение работ.

Предприятия, осуществляющие техническое обслуживание, выполняют следующие функции:

- приёмку, предпродажную подготовку и электропробег аппаратуры;
- продажу РЭА и проведение инструктажа владельцев по правилам эксплуатации, а при фирменном обслуживании и профилактические осмотры РЭА в период гарантийного срока эксплуатации;
- продажу запчастей, изучение и формирование спроса на них;
- доставку стационарной РЭА к месту установки;
- её установку;
- обслуживание в послегарантийный период;
- выдачу аппаратуры в фирменный прокат и её обслуживание;
- приём от владельцев, восстановление работоспособности аппаратуры, замененной по существующим правилам обмена промтоваров и её реализацию;
- приём от населения и отправку аппаратов на предприятия, осуществляющие их утилизацию;
- ремонт модулей, блоков и узлов, снятых с аппаратуры;
- сбор и обработку данных об отказах РЭА, представление заводам-изготовителям предложений по совершенствованию аппаратуры;
- установку антенн индивидуального пользования, обслуживание антенн коллективного пользования.

Техноцентры создаются при предприятиях как изготавливающих РЭА, так и не изготавливающих её. Техноцентры заводов-изготовителей осуществляют обслуживание по ограниченному парку аппаратуры, выпускаемой своим заводом. На эти центры возлагаются задачи:

- по реализации и обслуживанию РЭА, выпущенной заводом;
- изучению спроса на неё;
- обучение устройству, фирменному обслуживанию новых моделей;
- разработке приспособлений для обслуживания новых аппаратов;
- передаче опыта другим техноцентрам.

Техническое обслуживание и ремонт РЭА в послегарантийный период эксплуатации могут осуществляться кооперативами.

Предпродажной подготовке подвергают всю аппаратуру. Она проводится в соответствии с типовым договором на проведение предпродажной подготовки или типовым договором на гарантийное техническое обслуживание и ремонт аппаратуры. При этом проверяют:

- состояние упаковки и внешнего вида;
- соответствие номеров аппаратуры и комплектующих изделий номерам, указанным в гарантийных талонах.

Затем проводят двухчасовой электропрогон аппарата с четырьмя технологическими отключениями продолжительностью не более 15 минут и регистрацию результатов предпродажной подготовки.

Аппарат считают прошедшим предпродажную подготовку, если он отвечает нормам ТУ в объеме приемосдаточных испытаний.

Аппарат, вскрытый в техноцентре, должен быть опломбирован. На аппарат, который не может быть восстановлен во время предторгового ремонта, предъявляются претензии установленным порядком. Результаты проведения предторгового ремонта оформляются актом, его копия направляется заводу-изготовителю.

Оплата работ при предпродажной подготовке осуществляется заводом изготовителем за счет доходов торговых предприятий по соглашению с техноцентром, установленному при заключении договора. Основание для оплаты является акт о проведении о предпродажной подготовки, подписанной представителями сторон.

Оплата работ по повторной предпродажной подготовке или предторговому ремонту проводится заводом-изготовителем на основе соответствующих актов и счетов по ценам действующего прейскуранта на техническое обслуживание и ремонт РЭА в послегарантийный период эксплуатации.

По желанию владельца техноцентр обязан доставить приобретенный аппарат на дом, при этом доставка оплачивается владельцем по действующим прейскурантам. Доставленный аппарат техноцентр обязан бесплатно установить, продемонстрировать его работу и ознакомить с правилами техники безопасности, фирменного технического обслуживания и ремонта.

В гарантийный и послегарантийный период техническое обслуживание и ремонт, проводимые техноцентром должны выполняться в сроки, указанные в табл. 15.1.

Таблица 15.1

Виды технического обслуживания и ремонта	Сроки выполнения технического обслуживания и ремонта, сутки		
	На дому		В техноцентре
	В городе, где расположен техноцентр	За пределами города, где расположен техноцентр	
Гарантийный	3	5	14
Послегарантийный	3	5	14
Срочный	1	2	5

Техническое обслуживание и ремонт иномарок выполняется в сроки по согласованию с заказчиком.

В техноцентре должны быть следующие документы:

1. Правила технического обслуживания и ремонта РЭА.
2. Правила обмена РЭА.
3. Прейскурант.
4. Перечень выполняемых работ.
5. Адреса и номера телефонов предприятий, осуществляющих установку, обслуживание и ремонт РЭА.
6. Таблички с указанием Ф.И.О. приемщика, руководителей техноцентра и т.д.

КИП для обслуживания и ремонта должен соответствовать требованиям, установленным в инструкциях по техническому обслуживанию (ремонту) аппаратуры.

Техноцентры гарантируют:

- соответствие качества обслуживания и ремонта научно-технической документации;
- сроки эксплуатации отремонтированных аппаратов в соответствии со стандартами и ТУ;
- соблюдение сроков выполнения заказа и договора по профилактике;
- сохранность принятых от заказчика изделий.

Взаимоотношения между техноцентром, заводами-изготовителями и предприятиями торговли определяются законами «О предприятии» и «О защите прав потребителей» и строятся на основании типовых договоров. Покупатель получает паспорт или гарантийный талон на аппарат с отметкой магазина о дате продажи, являющийся началом отчета гарантийного срока. На кинескоп гарантийный срок указывается в отдельном талоне. Если в паспорте нет талона продажи, то гарантия исчисляется со дня изготовления аппарата. Техническое обслуживание и ремонт во время гарантийного срока проводится ремонтным центром по поручению завода-изготовителя с оформлением между ними договора. Одновременно с договором заказчик представляет техническую документацию (сервисную инструкцию, инструкцию по ремонту и т.д.). Если изменяется схема изделия, то заказчик своевременно информирует об этом исполнителя.

Техническое обслуживание и ремонт при гарантиях проводится за счет потребителя в следующих случаях:

- аппарат неправильно эксплуатировался;
- не выполняются рекомендации техноцентра по обеспечению нормальной работы в месте установки аппарата;
- нарушена пломбировка или имеются повреждение корпуса (деталей или узлов).

При проведении регламентного технического обслуживания сверяют пломбы, проверяют работоспособность изделия, чистят, заменяют при необходимости детали и т.д. Гарантийное обслуживание для бытовой РЭА

проводится на дому. После проведения технического обслуживания радиомеханик пломбирует изделие и делает соответствующую отметку в гарантийном талоне. Возмещение техноцентру расходов по ремонту РЭА производится изготовителем независимо от числа ремонтов в соответствии с прейскурантом. Послегарантийное обслуживание может быть абонентным или разовым (платным).

Изделие работающее более 10 лет может приниматься в ремонт при наличии запчастей, модулей и т.д. сроки обслуживания и ремонта устанавливаются по согласованию с техноцентром.

Обслуживание и ремонт импортных изделий осуществляется по аппаратуре, на которую имеется техническая документация. Если последняя отсутствует, то обслуживание и ремонт проводятся по договорным ценам (от 5 до 10% от стоимости изделия).

Претензии по качеству технического обслуживания и ремонту бытовой РЭА в течение гарантии выполняются безотлагательно в соответствии с правилами, в после гарантийного срока - при выходе из строя только ремонтируемого элемента.

Повышение качества технического обслуживания и ремонта РЭА может быть только при внедрении прогрессивных технологических процессов, автоматизации поиска неисправностей, обеспеченности запчастями и повышении квалификации обслуживаемого персонала. Контроль качества ремонта проводится сплошным или выборочным методами сотрудниками техноцентра, которые выполняют обязанности ОТК. Для повышения качества ремонта техноцентры снабжаются спецоборудованием и оснасткой. Для проверки КИПа техноцентров существует сеть метрологического обеспечения.

16. Эффективность и экономичность эксплуатации радиоэлектронных систем

Для повышения безотказности аппаратуры в процессе эксплуатации проводят техническое обслуживание. При этом проводится контроль работоспособности аппаратуры, подстройка её параметров, прогнозирование отказов и их устранение.

Повышение безотказности при проведении технического обслуживания характеризуют эффективностью профилактики, под которой понимают отношение наработки на отказ профилактируемой $T_{оп}$ и непрофилактируемой $T_о$ аппаратуры

$$W_{п} = T_{оп} / T_о. \quad (16.1)$$

Прирост наработки на отказ в профилактируемой аппаратуре обусловлен своевременным предотвращением отказов, поэтому для оценки эффективности вводят коэффициент эффективности профилактики. Под

ним понимают отношение числа отказов, выявляемых при профилактике, к суммарному числу отказов, зарегистрированных в процессе эксплуатации аппаратуры.

$$K_{\text{эф.п}} = n_{\text{п}}/n_{\Sigma}, \quad (16.2)$$

где $n_{\Sigma} = n_{\text{п}} + n_{\text{р}}$;

$n_{\text{р}}$ – число отказов, возникших в процессе работы аппаратуры.

Мы ранее предположили, что потоки отказов в профилактируемой и непрофилактируемой аппаратуре – простейшие, поэтому эффективность профилактики можно представить в виде

$$W_{\text{п}} = \frac{T_{\text{оп}}}{T_{\text{о}}((t_{\Sigma}/n_{\text{р}})/(t_{\Sigma}/n_{\Sigma}))} = n_{\Sigma}/n_{\text{р}}, \quad (16.3)$$

где t_{Σ} – суммарное время работы РЭА, в течение которого зарегистрировано n_{Σ} отказов.

Преобразуя (16.3) с учётом (16.2), получим

$$W_{\text{п}} = n_{\Sigma}/n_{\text{р}} = ((n_{\text{р}} + n_{\text{п}})/n_{\text{р}}) = 1 + W_{\text{п}} \cdot K_{\text{эф.п}} \quad (16.4)$$

или

$$W_{\text{п}} = 1/(1 - K_{\text{эф.п}}). \quad (16.5)$$

Показатели $W_{\text{п}}$ и $K_{\text{эф.п}}$ количественно оценивают повышение надёжности при проведении профилактических работ. Кроме этих показателей, для оценки эксплуатационных свойств РЭА используют показатели продолжительности и трудоёмкости технического обслуживания и ремонтов.

Для бытовой РЭА рекомендуется показатели:

- средняя продолжительность технического обслуживания;
- средняя трудоёмкость технического обслуживания;
- средняя продолжительность текущего ремонта;
- средняя трудоёмкость текущего ремонта.

Первый показатель определён в разделе 12 (12-я лекция – «Основы технического обслуживания РЭС»).

Второй показатель есть отношение средней продолжительности технического обслуживания и измеряется в человеко-часах

$$S_{\text{ТО}} = T_{\text{ТО}}/N_{\text{об}}, \quad (16.6)$$

где $N_{\text{об}}$ – число радиомехаников, участвующих в техническом обслуживании.

Третий показатель определяется продолжительностью операций при проведении восстановительных работ.

Четвертый показатель определяется отношением средней продолжительности текущего ремонта к общему числу радиомехаников, занятых в техническом обслуживании

$$S_{T.P.} = T_{T.P.} / N_{об} \text{ (ч/ч)}. \quad (16.7)$$

Экономичность – свойство, характеризующее затраты ($C_э$) на эксплуатацию РЭА.

Они состоят из:

- стоимости обслуживаемого персонала $C_о$;
- расходов на текущий ремонт $C_р$;
- расходов на транспортирование $C_т$;
- стоимости израсходованной электроэнергии $C_{ээ}$;
- затрат на ЗИП, инструменты, вспомогательную аппаратуру, расходные материалы $C_м$, т.е.

$$C_э = C_о + C_з + C_р + C_т + C_{ээ} + C_м. \quad (16.8)$$

Обычно эксплуатационные расходы определяют на 1 год эксплуатации. Экономическая оценка эксплуатационных свойств аппаратуры проводится с помощью коэффициента стоимости эксплуатации

$$K_{ст.э} = C_э / C_п, \quad (16.9)$$

где $C_э$ – стоимость эксплуатации в течение года;

$C_п$ – стоимость аппаратуры.

Эта оценка важна при обосновании требований к надёжности. Создание высоко надёжной РЭА требует дополнительных затрат, при этом её повышение уменьшает стоимость эксплуатации, поэтому при задании требований по надёжности следует находить из суммарной стоимости экономических затрат на производство и эксплуатацию аппаратуры, т.е.

$$C_э = C_п + C_э. \quad (16.10)$$

Зависимость $C_э$ от вероятности безотказной работы показана на рис. 16.1.

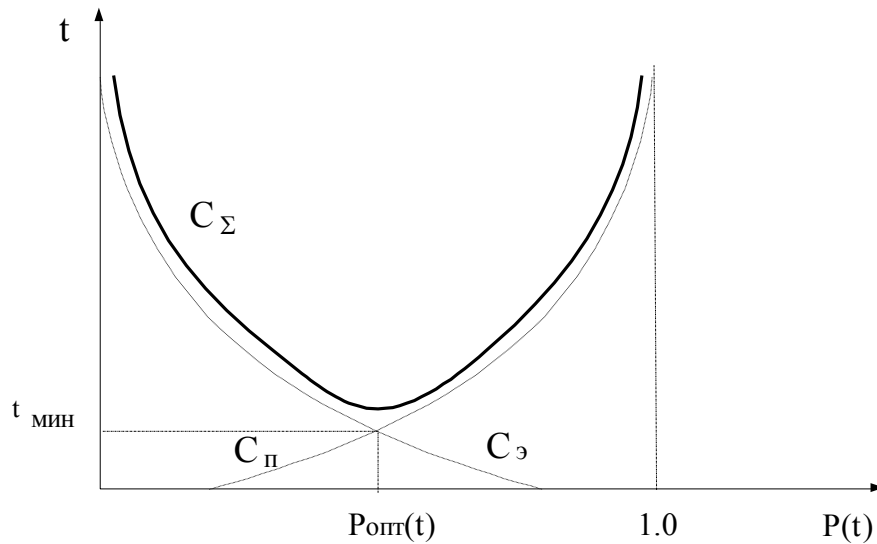


Рис. 16.1

С ростом надежности C_{Π} увеличится, а $C_{\text{Э}}$ уменьшается. Максимальное значение C суммарного имеет минимум, соответствующий оптимальному значению надежности по экономическим показателям.

Рассмотрим составляющие стоимости одного ремонта. Предположим, что каждая проверка при отыскании неисправности имеет определенную стоимость V_1 , одинаковую для всех параметров, а отказавший элемент имеет стоимость $V_{\text{Э}}$.

Тогда стоимость ремонта при одном отказе:

$$V_P(K) = V_1 \cdot K_r + V_{\text{Э}}, \quad (16.11)$$

где K_r – число проверок при отыскании неисправности.

При выполнении ремонта возможны три случая:

- 1) ограничено время ремонта, т.е. время ремонта – дефицит ($T_{P,Д}$), а его стоимость не учитывается;
- 2) ограничен максимум стоимости ремонта $V_{P,Д}(K)$, а время ремонта не ограничено;
- 3) ограничение на время $T_{P,Д}$ и стоимость ремонта $V_{P,Д}(K)$.

Для бытовой РЭА характерен второй случай. В этом случае допустимый диапазон измерения K_r (рис. 16.2) накладывает требования на квалификацию обслуживающего персонала и необходимую диагностическую аппаратуру.

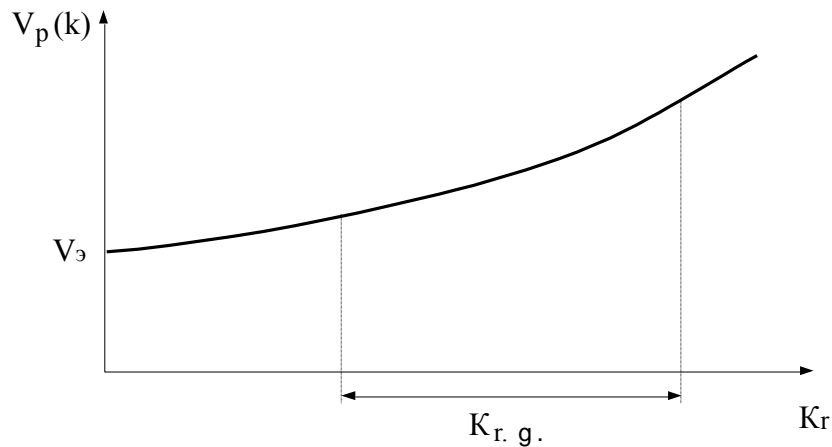


Рис. 16.2

Производственные объединения, техноторговые и сервисные центры, выполняющие техническое обслуживание и ремонт бытовой РЭА, представляют собой сложную экономическую систему с множеством разнообразных функций и связей, поэтому уровень экономической эффективности их функционирования может быть измерен не только выше рассмотренными показателями, но и другими. Одним из дополнительных показателей является качество ремонта, как поступают такие известные фирмы, как Sony, Panasonic, Siemens, и др.

На качество ремонта фирмы обращают внимание в таких странах, как США, Англия, Франция и т.д., а в слаборазвитые страны может быть поставлена РЭА без гарантийных и послегарантийных обязательств.

Важное значение для техноторговых и сервисных центров имеет квалификация обслуживающего персонала и широкое внедрение диагностических приборов, автоматизации поиска неисправностей, а также централизованное снабжение ЗИПом.

17. Инженерно - психологические основы эксплуатации

Усложнение РЭА, применение различной диагностической и контрольно-измерительной аппаратуры, повышение степени автоматизации процессов обслуживания и ремонта выдвигают новые требования к условиям труда, профессиональным знаниям и навыкам, общей культуре и психологическим качествам оператора.

Разработка и организация эксплуатации РЭА, с позиции обеспечения её высокой надёжности и эффективности, требуют решения ряда задач из области психологии, физиологии и гигиены труда. Эти проблемы решает инженерная психология – наука, изучающая закономерности процессов информационного взаимодействия человека и техники для использования их в разработке, создания и эксплуатации системы «человек-машина» (СЧМ). При этом подчёркивается ведущая роль человека. Основные её задачи:

- анализ функций человека в СЧМ, изучение структуры и классификация деятельности оператора;
- изучение процессов преобразования информации человеком-оператором;
- разработка принципов построения рабочих мест;
- изучение влияния психологических факторов на эффективность СЧМ;
- разработка принципов и методов профессиональной подготовки операторов;
- определение экономического эффекта инженерно-психологических разработок.

Необходимо обеспечить оператору:

- нормальное восприятие числа объектов управления и контроля;
- снижение до принятых норм шума;
- правильную организацию условий труда и организацию рабочего места;
- наличие необходимых инструкций и предупредительных знаков;
- надежную индикацию отказов самой РЭА в процессе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта;
- снижение до установленных норм электромагнитного излучения, вызывающего утомляемость оператора, головные боли, раздражительность и т.д.

Необходим профессиональный отбор операторов. В случае эксплуатации аппаратуры группой операторов нужно развивать у них целеустремлённость, сплочённость, прочность связей и эффективность совместной деятельности. Для сложной РЭА проводится обучение обслуживающего персонала навыкам эксплуатации на встроенных в аппаратуру тренажёрах и навыкам ремонта на ремонтных и диагностических стендах.

Нормативно-техническая документация (НТД) должна давать оператору необходимые сведения:

- по устройству и функционированию, способам применения и особенностям эксплуатации аппаратуры;
- поиску и устранению возникших в ней неисправностей.

НТД должна быть максимально упрощена, унифицирована. Информация в документации должна предъявляться оператору в форме, обеспечивающей её непосредственное использование без расшифровки и перекодирования, а также допускать возможность её укрупнения и детализации. НТД также должна разрабатываться с учётом специфики организации производства. Часто наблюдаются недостатки графической документации, по которой оператору приходится выбирать информацию, отсеивая массу технологических и конструкторских подробностей, имеющих второстепенное значение при эксплуатации.

Библиографический список

1. Леонов А.И., Дубровский Н.Ф. Основы технической эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Учебник для ВУЗов М.: Легпромиздат, 1991.
2. Давыдов П.С. Техническая диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 1988.
3. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. Лавриченко В.Ю. М.: 1978.
4. Алексеенко А.Я., Адерихин И.В. Эксплуатация радиотехнических систем М.: 1980.
5. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств М.: Радио и связь, 1989.
6. ГОСТы по эксплуатационной и ремонтной документации 2.105-79, 2.609-68, 2.102-68, 2.604-68, 2.603-68, 2.605-68, 2.606-71, 2.608-78, 2.609-79.
7. Борисов Ю.С. Организация ремонта и технического обслуживания оборудования. М.: Машиностроение, 1988.
8. Зиземский Е.Н. Надёжность радиоэлектронной аппаратуры. М.: Судостроение, 1967.
9. Банк М.У. Параметры бытовой приёмно-усилительной аппаратуры и методы их измерения. М.: Радио и связь, 1982.
10. Пономарёв Н.Н. Автоматическая аппаратура контроля радиоэлектронного оборудования. М.: Советское радио, 1975.
11. Дж. Джейкокс. Руководство по поиску неисправностей в электронной аппаратуре. М.: Мир, 1989.
12. Кузинец Л.М. и др. Техническое обслуживание телевизионных приёмников и антенн. Справочник. М.: Связь, 1973.
13. Брянский Л.Н., Дойников А.С. Краткий справочник метролога. М.: Изд-во стандартов, 1991.
14. Полибин В.В. Ремонт и обслуживание радиотелевизионной аппаратуры. Практическое пособие М.: Высшая школа, 1991.
15. Козлов В.А., Ушаков И.А. Справочник по расчёту надёжности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М.: 1975.
16. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры /Под. Ред. Чинаева П.И. М.: Сов. радио, 1977.
17. Колесниченко О.В., Шкишчик И.В. Обслуживание и ремонт зарубежных бытовых видеомагнитофонов. Справочное пособие. СПб, Лань, 1995.
18. Журналы «Ремонт электронной техники» М.: Изд-во «Электронные компоненты», 2000, №№ 2(5), 3(6), 4(7), 5(8).
19. Вентцель Е.С. Теория вероятностей М.: 1962.
20. Жданкин В. Надёжность преобразователей напряжения и ее количественная оценка. «Современные технологии автоматизации» №4/97. С. 116-119.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общая характеристика радиоэлектронных систем.....	3
1.1. Основные положения и определения	3
1.2. Задачи эксплуатации	5
2. Эксплуатационно-технические показатели	6
2.1. Основные понятия теории вероятности и массового обслуживания	8
2.2. Теоремы сложения и умножения вероятностей.....	8
3. Безотказность.....	11
3.1. Общие сведения о законах распределения времени безотказной работы	11
3.2. Показатели ремонтируемых изделий	16
4. Ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, готовность	19
5. Влияние различных факторов на показатели надежности	23
5.1. Электрические режимы	25
5.2. Климатические режимы.....	26
5.3. Колебания и большие ускорения.....	27
5.4. Вибрации	28
5.5. Пониженное давление, чистота воздуха	29
6. Общие методы повышения надежности. Резервирование.....	30
7. Расчет и контроль надежности радиоэлектронных систем в целом.....	38
8. Испытания по оценке надежности	42
9. Поиск неисправных элементов	45
10. Диагностика радиоэлектронной аппаратуры	49
11. Расчет ремонтпригодности	63
12. Основы технического обслуживания радиоэлектронных систем.....	65
13. Состав и требования к документации по техническому обслуживанию и ремонту радиоэлектронных систем.....	70
14. Общие положения о комплектации.....	74
радиоэлектронных систем ЗИПом	74
15. Организация технического обслуживания и ремонта радиоэлектронных систем.....	78
16. Эффективность и экономичность эксплуатации радиоэлектронных систем.....	82
17. Инженерно - психологические основы эксплуатации.....	86
Библиографический список	88

**Байлов Владимир Васильевич
Плаксиенко Владимир Сергеевич**

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И СЕРВИС РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Ответственный за выпуск Плаксиенко В.С.

Редактор Кочергина Т.Ф.

Корректор Селезнёва Н.И., Надточий З.И.

ЛР №020565 от 25 июня 1997 г. Подписано к печати 25.12.02

Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная

Офсетная печать

Усл. п. л. – 5,6

Уч.- изд. л. – 5,4

Заказ № 571

Тираж 150 экз.

«С»

Издательство Таганрогского государственного
радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Некрасовский, 44
Типография Таганрогского государственного
радиотехнического университета
ГСП 17А, Таганрог, 28, Энгельса, 1