

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Федерального государственного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Приоритетный национальный проект  
«Образование»**

В.В. Байлов, В.С. Плаксиенко

**ДИАГНОСТИКА И ОБСЛУЖИВАНИЕ  
РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ  
БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Часть 1**

Учебное пособие

Таганрог 2007

**Рецензенты:**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, действительный член Международной академии информатизации, зам. директора, главный конструктор ФГУП «Таганрогский научно-исследовательский институт связи»

**Гришков А.Ф.;**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, действительный член Международной академии информатизации, ученый секретарь Таганрогской академии информатиологии Международной академии информатизации

**Орлов Г.Н.**

Байлов В.В., Плаксиенко В.С. Диагностика и обслуживание радиоэлектронных систем бытового назначения: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. – 64 с.

Учебное пособие содержит сведения по задачам контроля и диагностики РЭС БН, надежности, автоматизации контроля и диагностики бытовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭС БН), вопросы технической диагностики радиоприемных устройств, магнитофонов, проигрывателей, компакт-дисков, телевизионных приемников, а также вопросы технического обслуживания, ремонта и контроля качества бытовой радиоэлектронной аппаратуры.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Радиотехника», специальности «Бытовая радиоэлектронная аппаратура» дневной и безотрывной форм обучения, будет полезно специалистам, занимающимся вопросами эксплуатации и обслуживания сложной бытовой радиоэлектронной аппаратуры.

Табл. 5. Ил. 19. Библиогр.: 6 назв.

## **Введение**

Особое значение для пользователя имеет не просто функционирование радиоэлектронной аппаратуры, а точная реализация заданных технических параметров и характеристик, поэтому очень важно наличие знаний по контролю и диагностике радиоэлектронных систем бытового назначения (РЭС БН).

В настоящее время разнообразие РЭС БН делает эту проблему достаточно сложной, так как к бытовой аппаратуре можно отнести радиоприемные устройства, магнитофоны аудио- и видеосигналов, проигрыватели виниловых пластинок и компакт-дисков, телевизионные приемники, персональные ЭВМ, домашние кинотеатры и т. д.

Очень важно понимать задачи диагностики, профилактического обслуживания и конечно ремонта, учитывать огромные возможности автоматизации и оптимизации этих процедур.

Все указанное и определяет параметры надежности РЭС БН, которые, пожалуй, занимают второе место в требованиях к аппаратуре, а первое требование – это качественные характеристики, которые сегодня формулируются не просто как частотный диапазон, нелинейные искажения и т. д., а являются более интегральными, например, «эффект присутствия». Безусловно очень важна стоимость аппаратуры, причем грамотный потребитель сегодня интересуется не только стоимостью аппаратуры, но и расходами на эксплуатацию, включая диагностику, обслуживание и ремонт.

## **1. ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ РЭС БН**

### **1.1. Основные понятия и определения**

Техническая диагностика представляет область научно-технических знаний, включающую в себя теорию и методы определения текущего состояния объектов диагностирования (ОД) с помощью средств технического диагностирования и контроля (СРД и К). Техническое диагностирование в соответствии с ГОСТ 20911-75 представляет собой процесс определения технического состояния ОД с определенной точностью при помощи СРД и К.

В технической диагностике важным понятием является техническое состояние ОД. Совокупность свойств объекта, подверженных изменениям в процессе производства и эксплуатации, называют техническим состоянием.

К объектам диагностирования бытовой аппаратуры относят радиоэлектронную аппаратуру (РЭА) различного типа (телевизоры,

магнитофоны, радиоприемники, музыкальные центры и т.д.). К СРД и К относят различного типа электрорадиоизмерительные приборы, информационно-измерительные системы и другие устройства, с помощью которых производится определение технического состояния ОД. Различают несколько видов технического состояния ОД:

1. **Исправность** – техническое состояние объекта диагностирования, при котором он удовлетворяет всем требованиям нормативно-технической документации (НТД), в противном случае ОД неисправен.

2. **Работоспособность** – техническое состояние объекта диагностирования, при котором он удовлетворяет основным требованиям НТД, определяющим возможность его применения по назначению.

3. **Правильность функционирования** – техническое состояние объекта диагностирования, при котором значение его параметров в текущий момент реального времени применения объекта находится в требуемых пределах и заданных режимах, определяемых НТД.

Итак, исправный объект всегда работоспособен и функционирует правильно. Неправильно функционирующий объект всегда неработоспособен и неисправен. Работоспособный объект может быть неисправен.

Первоочередной задачей (целью) технического диагностирования РЭА является проверка (контроль) ее работоспособности, исправности или правильности функционирования в настоящий момент.

Если в процессе диагностирования РЭА установлено, что она неисправна, неработоспособна или функционирует неправильно, то это говорит о том, что в РЭА имеются неисправности, подлежащие выявлению и устранению на этапе ремонта РЭА.

Число состояний, которые можно различить в результате технического диагностирования аппаратуры, определяется достоверностью его результатов, т.е. степенью их соответствия истинному техническому состоянию. Количественной характеристикой достоверности служит вероятность этого соответствия.

Эффективность технического диагностирования в соответствии с ГОСТ 23564-79 определяется показателями:

1. Количество тестовых воздействий.
2. Продолжительность теста диагностирования.
3. Вероятность ошибки диагностирования  $P$  – это вероятность, совместного наступления двух событий: ОД находится в техническом состоянии  $i$ , а в результате диагностирования признано, что он нахо-

дится в техническом состоянии  $j$ . Если  $i = j$ , то  $P$  является вероятностью правильного определения технического состояния объекта.

4. Вероятность правильного диагностирования  $P$  - это полная вероятность того, что система технического диагностирования (СТД) определяет то техническое состояние, в котором действительно находится ОД.

5. Средняя оперативная продолжительность диагностирования  $\tau_d$ .

6. Средняя стоимость диагностирования  $C_d$ .

7. Средняя оперативная трудоемкость диагностирования  $S_d$ .

8. Коэффициент унификации устройств сопряжения с СРД и К:

$$K_{yc} = \frac{N_y}{N_0},$$

где  $N_y$  – число унифицированных устройств;  $N_0$  – общее число устройств сопряжения.

9. Коэффициент унификации параметров сигналов изделия:

$$K_{yn} = \frac{M_y}{M_0}$$

где  $M_y$  – число унифицированных диагностических параметров;

$M_0$  – общее число параметров.

10. Коэффициент трудоемкости подготовки изделия к диагностированию:  $K_{Td} = \frac{W_B}{W_d}$ , где  $W_B$  – средняя трудоемкость подготовки изделия

к диагностированию;  $W_d = W_0 + W_B$ ;  $W_0$  – основная трудоемкость диагностирования.

11. Коэффициент использования специальных средств диагностирования:  $K_{ис} = \frac{G_{ссд}}{G_{сд} + G_{ссд}}$ , где  $G_{сд}$  и  $G_{ссд}$  – соответственно объемы серийных и специальных средств диагностирования.

Следует отметить, что далеко не вся РЭА, выпускаемая промышленностью, может быть подвергнута техническому диагностированию. Для осуществления технического диагностирования РЭА необходимо, чтобы она была контролепригодна.

Под контролепригодностью понимают программно-аппаратурную приспособленность РЭА к техническому диагностированию в процессе ее производства, эксплуатации и ремонта, а также взаимную согласованность ее характеристик с характеристиками СРД

и К. Контролепригодность РЭА должна обеспечиваться на стадиях ее разработки и изготовления.

Результат диагностирования зависит не только от состояния РЭА, но и от требований, предъявляемых к ней, а они определяются назначением этой РЭА. При диагностировании РЭА прежде всего необходимо определить (выбрать) те технические параметры (ТП), по которым определяется (оценивается) результат диагностирования. Таких параметров может быть произвольное количество, однако необходимо учитывать, что с увеличением количества контролируемых ТП, как правило, возрастает трудоемкость диагностирования РЭА и сложность используемых СРД и К. Поэтому на практике число контролируемых ТП ограничивается 3-6 параметрами.

При техническом диагностировании необходимо также учитывать погрешности измерения ТП, так как при увеличении этих погрешностей возрастает вероятность ошибки диагностирования.

При диагностировании РЭА решаются три задачи. Задачи первого типа формально следует отнести к технической диагностике. Задачи второго типа - предсказание технического состояния РЭА, в котором она окажется в некоторый будущий момент. Это задачи технического прогнозирования. Решение задач технического прогнозирования имеет место, например, при организации технического обслуживания (ТО) РЭА по состоянию (вместо обслуживания по срокам и ресурсам).

Непосредственное перенесение методов решения задач технического диагностирования на задачи технического прогнозирования невозможно из-за различия моделей диагностируемых объектов. При диагностировании моделью обычно является описание объекта в текущий момент, в то время как при прогнозировании необходима модель процесса эволюции технических параметров РЭА во времени.

К задачам третьего типа относится задача определения технического состояния, в котором находилась РЭА в некоторый момент в прошлом. По аналогии – это задачи технической генетики. Такие задачи возникают, например, в связи с расследованием аварий и их причин, когда техническое состояние РЭА в рассматриваемое время отличается от состояния, в котором она была в прошлом. Эти задачи решаются путем определения возможных или вероятных предысторий, ведущих к настоящему техническому состоянию РЭА.

Необходимо отметить, что в большинстве случаев при проведении технического диагностирования бытовой РЭА решаются задачи первого типа. Однако при необходимости могут решаться задачи и второго, и третьего типа.

Техническое диагностирование бытовой РЭА рекомендуется проводить в соответствии с обобщенным алгоритмом, приведенным на рис. 1.1.

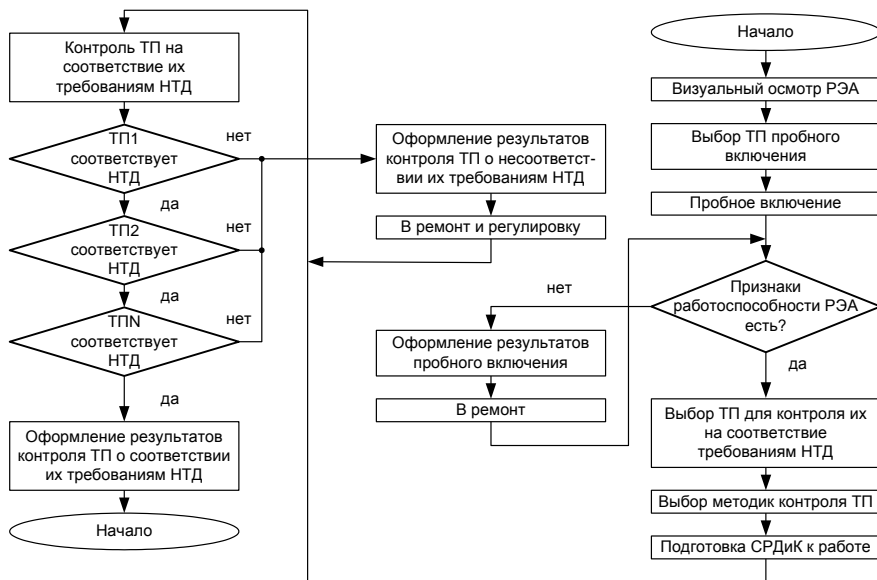


Рис. 1.1. Обобщенный алгоритм диагностирования бытовой РЭА

На первом шаге алгоритма диагностирования РЭА проводят визуальный осмотр, при котором определяют целостность органов управления аппаратурой, держателей предохранителей, исправность вилок, кабелей питания, разъемов (соединителей) и т.д. После этого производят выбор технических параметров опробования РЭА.

Для радиоприемников к таким параметрам можно отнести, например, наличие слухового приема сигналов радиостанций. Для телевизионных приемников – наличие изображения на экране и звука в громкоговорителе.

Если при включении бытовой РЭА отсутствуют признаки ее работоспособности, это говорит о том, что в ней имеется неисправность. При этом техническое состояние РЭА признается неработоспособным, оформляются результаты контроля РЭА, и она направляется в ремонт и регулировку. На практике, как правило, специалист, осуществляющий техническое диагностирование бытовой РЭА, проводит и ее ремонт.

В случае, если имеются признаки работоспособности бытовой РЭА, специалистом, осуществляющим ее диагностирование, производится выбор ТП из НТД, методик контроля выбранных ТП, средств диагностирования, необходимых для проведения контроля выбранных ТП, и их подготовка к проведению контроля ТП. После этого производится контроль ТП на соответствие их требованиям НТД. В случае несоответствия хотя бы одного из параметров диагностируемой РЭА требованиям НТД ее техническое состояние признается неработоспособным, и она подлежит ремонту и регулировке. В случае соответствия всех ТП требованиям НТД ее техническое состояние признается работоспособным, и аппаратура подлежит дальнейшей эксплуатации.

## **1.2. Классификация технических параметров и допусков**

В процессе эксплуатации бытовой РЭА в связи с недостаточной надежностью узлов и элементов, входящих в нее, возникает необходимость проведения технической диагностики с целью получения информации о ее работоспособности. Работоспособность РЭА определяется по результатам контроля ее ТП на соответствие требованиям НТД.

Техническим параметром принято считать величину, характеристику, функциональную зависимость, которые определяют техническое состояние системы, аппаратуры, блока, модуля, узла или элемента. Параметры являются характеристиками различных процессов, происходящих в РЭА, или ее реакции на входные или внешние воздействия. В теории диагностики и контроля РЭА параметры подразделяют на следующие группы:

- параметры выходных и входных сигналов (амплитуда, несущая частота, мощность, длительность фронтов или спадов сигналов и т.д.);
- параметры физических процессов, происходящих в объектах;
- параметры, не несущие запаса энергии (чувствительность, входные и выходные сопротивления, коэффициент шума, коэффициент нелинейных искажений и т.д.);
- параметры передаточных и переходных функций и т.д.

Каждый тип РЭА характеризуется определенным множеством параметров, однако среди них всегда имеется подмножество параметров ( $u_1, u_2, \dots, u_n$ ), которые определяют работоспособность РЭА в целом. Такие параметры называются определяющими. Часто определяющие параметры непосредственно измерить невозможно. Поэтому для их определения осуществляют контроль вспомогательных пара-



метров ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ), которые связаны с первыми вполне определенными зависимостями  $y_j = f_j(x_j)$ . Их подразделяют на следующие группы:

*первичные* – параметры электрорадиоэлементов диагностируемой аппаратуры. Они имеют самую низкую степень обобщения;

*вторичные* – параметры выходных функций диагностируемой аппаратуры. Они имеют самую высокую степень обобщения информации о структуре и работоспособности аппаратуры. Вторичные параметры – это определяющие параметры;

*промежуточные* – параметры, определяющие связи между вторичными и первичными параметрами.

Все контрольные параметры описываются свойствами:

- номинальным значением;
- номинальным значением допусков (границ);
- зависимостью значений от внешних условий;
- требуемой точностью измерения;
- функциональными зависимостями (формулы для вычисления значений параметров по результатам измерений косвенных величин).

Следует учитывать, что параметры РЭА в общем случае являются случайными величинами, так как зависят от многих факторов, имеющих случайный характер, например от неточности соблюдения технологии производства, изменения условий эксплуатации, старения аппаратуры и т.д.

Количество контролируемых параметров определяется задачами технической диагностики РЭА. Работоспособность бытовой РЭА характеризуется несколькими определенными показателями, по которым оценивается возможность ее дальнейшей эксплуатации.

Наибольшее применение нашел метод статистической оптимизации по критерию максимальной вероятности отказа параметра из совокупности контролируемых параметров диагностируемой РЭА. Этот метод позволяет оптимизировать количество проверяемых параметров и установить очередность их контроля. В соответствии с ним проводится анализ работы диагностируемой РЭА, на основе которого выбираются входные и выходные сигналы и определяется исходное количество параметров, подлежащих контролю. После этого производится расчет надежности элементов, узлов, каскадов и всего объекта диагностики в целом. Далее составляется физическая модель диагностируемого устройства. При этом элементы и узлы объединяются в отдельные группы, состояние которых характеризуется одним параметром с определенной степенью обобщения. Если состояние какого-либо узла характеризуется несколькими параметрами, то он условно

делится на несколько групп элементов и каскадов по числу характеризующих параметров. Очередность контроля параметров устанавливается, начиная с максимального значения вероятности отказа в порядке убывания.

Последовательность контроля параметров диагностируемой аппаратуры имеет особенно большое значение при разработке автоматизированных диагностических устройств и систем. При этом она определяет объем программы технического диагностирования, а также сложность программно управляющих и коммутирующих устройств.

Каждый технический параметр имеет допуск на его номинальное значение. Допусками  $\delta$  называют максимально допустимые отклонения параметров от номинальных значений, при которых не нарушается работоспособность РЭА  $Y = y_n \pm \delta$ , где  $y_n$  – номинальное значение параметра.

Допуски по параметрам РЭА подразделяют на производственные и эксплуатационные. Производственными допусками называют пределы изменения параметров при производстве РЭА, ограниченные допустимыми отклонениями их от номиналов, обеспечивающими работоспособность РЭА при ее эксплуатации. Эти допуски определяют точность соблюдения процесса производства, технологии сборки, правил регулировки, а также точность СРД и К. Введение производственных допусков вызвано производственными погрешностями, под которыми понимают различного рода отклонения параметров от номинальных значений, приведенных в НТД. Производственные погрешности являются следствием нестабильности технологических процессов изготовления РЭА: сборки, монтажа, регулировки и т.д.

Для большинства технологических процессов производственные погрешности параметров элементов (модулей и узлов) имеют нормальный закон распределения. Погрешности параметров, возникающие в результате действия дестабилизирующих факторов (температуры, влажности и др.), также подчинены нормальному закону, поэтому его можно считать основным при расчете производственных допусков, причем производственные допуски параметров должны быть больше производственных погрешностей.

Эксплуатационными допусками называют пределы изменения параметров в процессе эксплуатации, ограниченные максимально допустимыми отклонениями их от номиналов, при которых сохраняется работоспособность РЭА. От величин эксплуатационных допусков су-

щественно зависят правила регулировки, технического обслуживания, а также требования к точности используемых СРД и К.

Эксплуатационные допуски включают в себя температурные допуски и допуски на старение.

Температурный допуск характеризует пределы изменения параметра при заданном перепаде температур. Это изменение можно описать следующим образом  $y_T = y_0 [1 + a_T (t_2 - t_1)]$ , где  $y_0$  – значение параметра при температуре  $t = (20 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $a_T$  – температурный коэффициент данного параметра, характеризующий относительные изменения его при нагревании элемента на  $1^\circ\text{C}$ ;  $t_2$  и  $t_1$  – конечная и начальная температуры. Допуском на старение называют пределы изменения параметров от старения за определенный интервал времени эксплуатации, при котором сохраняется работоспособность РЭА. Такое изменение можно оценить следующим образом:  $y_{CT} = y_0 (1 + C_{CT} T_{CT})$ ,

где  $C_{CT} = \frac{\Delta y}{y}$  – коэффициент старения;  $\Delta y$  – изменение параметра за 1 ч;  $y$  – значение параметра в момент изготовления РЭА;  $T_{CT}$  – полное время существования РЭА, включая хранение и прогнозированный срок ее работы.

В реальных условиях распределение отклонений параметров в результате изменения температуры и старения можно считать нормальным. В этом случае допуски на параметры будут определяться по формуле  $\delta = \pm 3\sigma$ , где  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение параметра  $y$ ;  $\delta$  – половина поля допуска.

Увеличение значения поля допуска приводит к снижению качества работы РЭА, а его уменьшение вызывает увеличение трудозатрат на более частые регулировки, увеличение количества фиксируемых отказов и повышение требований к характеристикам точности СРД и К при заданной достоверности контроля.

Для обеспечения работоспособности РЭА от проверки до проверки необходимо, чтобы отклонения параметров в течение этого времени не выходили за границы допусков. Отсюда вытекает основное требование к регулировке параметров: центры группирования отклонений (математические ожидания) параметров ЭРЭ, модулей, блоков и узлов РЭА должны находиться как можно ближе к середине полей допусков.

В процессе эксплуатации РЭА уходы параметров от номинальных значений могут подчиняться разным законам (линейному, экспоненциальному и др.). При проведении регулировок необходимо учи-

тивать эти законы и устанавливать значение параметра так, чтобы оно не отклонялось от номинального больше, чем на половину своего возможного ухода. Безотказность РЭА можно рассматривать как произведение надежности  $P_1$ , характеризующей отсутствие внезапных отказов, и надежности  $P_2$ , характеризующей нахождение выходных параметров в пределах допусков  $P=P_1P_2$ .

В связи с этим одним из путей повышения безотказности РЭА является обоснованный выбор допусков на контролируемые параметры с учетом всех факторов, влияющих на них.

### **1.3. Критерии выбора совокупности технических параметров**

Выбор технических параметров бытовой РЭА для решения диагностических задач определяется рядом критериев, основными из которых являются:

- целевая функция диагностирования РЭА;
- задаваемый набор СРД и К;
- время диагностирования;
- стоимость СРД и К;
- стоимость проведения диагностирования.

Необходимо отметить, что выбор ТП для контроля работоспособности РЭА осуществляется на двух стадиях:

- на стадии проектирования, когда определяются цели и задачи применения проектируемой РЭА, а также методы и средства ее технического обслуживания;
- на стадии технической эксплуатации РЭА.

Следует подчеркнуть, что чем правильнее будет поставлена задача диагностирования РЭА на стадии проектирования, тем полнее будут реализованы возможности диагностирования РЭА при ее эксплуатации. Примером использования критерия целевой функции может служить процесс технической диагностики телевизионных приемников, используемых для выполнения двух разных задач: непосредственно для приема вещательного телевидения и в качестве мониторов для просмотра неподвижных изображений, передаваемых телевизионной камерой.

Для определения технического состояния исправности вещательных телевизионных приемников необходимо произвести контроль всех ТП. На практике в большинстве случаев определяют техническое состояние работоспособности РЭА, т.е. выбирают из всех параметров только основные в соответствии с целевой функцией использования.

Для определения же работоспособности телевизионных приемников в качестве мониторов нет необходимости осуществлять проверку, например, чувствительности, ограниченной шумами, чувствительности, ограниченной синхронизацией номинальной выходной мощности и коэффициента гармоник канала звукового сопровождения, так как радиотракты при этом не используются.

Проведению контроля работоспособности аппаратуры всегда предшествует проверка ее работоспособности по принципу «да/нет». Например, при пробном включении телевизионного приемника состояние «да» включает в себя следующее: изображение и звук есть. Состояние «нет» означает, например, что растр имеется, изображение и звук отсутствуют. Это указывает на наличие неисправности в РЭА. С другой стороны, наличие изображения и звука в телевизионном приемнике еще не говорит о том, что он работоспособен. Для этого необходимо произвести контроль ТП РЭА на соответствие их требованиям НТД.

Следующим критерием выбора совокупности ТП является задаваемый набор СРД и К, включающий различную контрольно-измерительную аппаратуру общего применения и специальную диагностическую аппаратуру. Перечень СРД и К, используемых для проведения диагностирования бытовой РЭА приводится в НТД (ГОСТы, ОСТы, ТУ) на эту РЭА. Использование СРД и К, которые отличаются от тех, которые регламентируются требованиями НТД, может привести к погрешностям измерений, что может сказаться на оценке результатов НТП диагностируемой РЭА.

И, наконец, третьим обобщенным критерием выбора совокупности ТП является затратный критерий, включающий время диагностирования, стоимость СРД и К и стоимость проведения самого процесса диагностирования РЭА. В качестве примера можно заметить, что для телевизионных приемников такие параметры, как яркость, контрастность, цветовая насыщенность, можно успешно проконтролировать визуально без применения каких-либо специальных СРД и К, что значительно снижает время и стоимость процесса диагностирования.

## **2. НАДЕЖНОСТЬ РЭА**

### **2.1. Основные понятия и определения**

При проектировании и изготовлении любого радиоэлектронного устройства (РЭУ) необходимо учитывать требования, обеспечивающие надежность его работы.

*Надежность* – это свойство изделия выполнять заданные функции в определенных условиях эксплуатации при сохранении значения основных параметров в заранее установленных пределах. Надежность является физическим свойством изделия, которое зависит от количества и качества, входящих в него элементов, от условий, в которых оно эксплуатируется, и от ряда других причин.

Если все параметры радиоэлектронного устройства соответствуют требованиям нормативно-технической документации (НТД) – ГОСТам, ОСТам, ТУ, то такое его состояние называют работоспособным. Событие, состоящее в нарушении работоспособности, называют *отказом*.

Для возникновения отказа достаточно ухода хотя бы одного параметра за пределы, установленные НТД. В зависимости от причин и характера проявления различают несколько видов отказов. Их классификация в соответствии с ГОСТ 21317-87 представлена на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Классификация видов отказов радиоэлектронной аппаратуры

По степени разукрупнения следует различать отказы отдельных элементов и отказы аппаратуры в целом.

Полными считаются отказы, до устранения которых невозможно использование аппаратуры по назначению. При частичных отказах можно использовать аппаратуру, но с пониженной эффективностью.

Характерным свойством внезапных отказов является скачкообразное изменение одного или нескольких параметров. В отличие от этого, при постепенных отказах значения одного или нескольких параметров изменяются постепенно.

В случае, когда отказ того или иного элемента радиоэлектронной аппаратуры вызван отказом другого ее элемента, такие отказы называются зависимыми. При отсутствии такой связи отказы считаются независимыми.

Если отказ непрерывно сохраняется во времени до момента его устранения, он считается устойчивым. Если же устранение отказа происходит самостоятельно без проведения ремонтно-восстановительных работ, то говорят о самоустраняющемся отказе. Сбои – это тоже самоустраняющиеся отказы, которые приводят к кратковременным нарушениям работоспособности аппаратуры. Перебегающие отказы представляют собой многократно возникающие сбои одного и того же характера.

По последствиям, которые влечет за собой тот или иной отказ, различают незначительные, значительные и, наконец, критические отказы. При испытаниях аппаратуры на надежность учитываются не все отказы. К неучитываемым относят:

- зависимые отказы;
- сбои;
- отказы, возникшие в результате нарушения установленных правил или условий эксплуатации аппаратуры;
- однократное перегорание сетевых предохранителей;
- повторяющиеся отказы, возможность возникновения которых предотвращена доработкой конструкции или изменением технологии.

Все перечисленные отказы могут иметь разные причины возникновения. Существуют конструктивные, производственные и эксплуатационные отказы. Конструктивные отказы возникают вследствие нарушения установленных норм и правил конструирования радиоаппаратуры. Производственные отказы вызываются нарушениями технологических процессов изготовления (или ремонта) этой аппаратуры, а эксплуатационные – нарушениями установленных правил или условий эксплуатации.

Надежность в зависимости от назначения изделия может включать в себя такие понятия, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость, отказоустойчивость, живучесть. Рассмотрим подробнее каждую из этих составляющих.

*Безотказность* – свойство изделия непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого промежутка времени или некоторой наработки.

*Ремонтопригодность* – свойство изделия, заключающееся в том, что изделие приспособлено для следующих действий:

- предупреждения возможных причин отказа;
- обнаружения причин возникшего отказа или его повторения;
- устранения последствий возникшего отказа или повреждения путем ремонтов и ТО.

Аппаратуру, которая удовлетворяет указанным требованиям, называют ремонтпригодной.

*Долговечность* – свойство изделия сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при условии выполнения установленных требований по ТО и ремонту. Под предельным состоянием понимают такое состояние изделия, при котором его дальнейшее применение по назначению (или восстановление работоспособного состояния) невозможно или нецелесообразно.

*Сохраняемость* – свойство изделия непрерывно находиться в исправном состоянии при хранении или транспортировании.

*Отказоустойчивость* – свойство изделия, обеспечивающее возможность выполнения им заданных функций после возникновения отказа или повреждения.

Для многоагрегатных комплексов (систем) сложной структуры (например, многопроцессорных вычислительных систем различного назначения) вводят понятие живучести. *Живучесть* – способность системы к выполнению своих основных функций (хотя бы с допустимой потерей качества их выполнения) в неблагоприятных условиях эксплуатации, выходящих за рамки проектных (расчетных) условий.

Рассмотренные определения дают качественную характеристику надежности. Чтобы сравнить разные типы изделий или экземпляры изделий одного и того же типа, необходимо иметь количественные характеристики надежности. Такие характеристики приведены на рис. 2.2. Одной из таких характеристик является вероятность  $P(t_p)$  безотказной работы изделия в течение заданного интервала времени, которая может принимать значения в диапазоне от 0 до 1 (рис. 2.2,а)  $1 > P(t_p) > 0$ . Эта вероятность показывает, какая часть изделий будет работать исправно в течение заданного интервала времени  $t_p$ .

Поясним это на примере. Предположим, что работают,  $a$  изделий одного типа. В течение времени  $t_p$  за ними ведется наблюдение и к концу интервала установлено, что  $b$  изделий работают исправно, а



(a-b) вышли из строя. Тогда вероятность безотказной работы можно оценить следующим образом:  $P(t_p) = b/a$ .

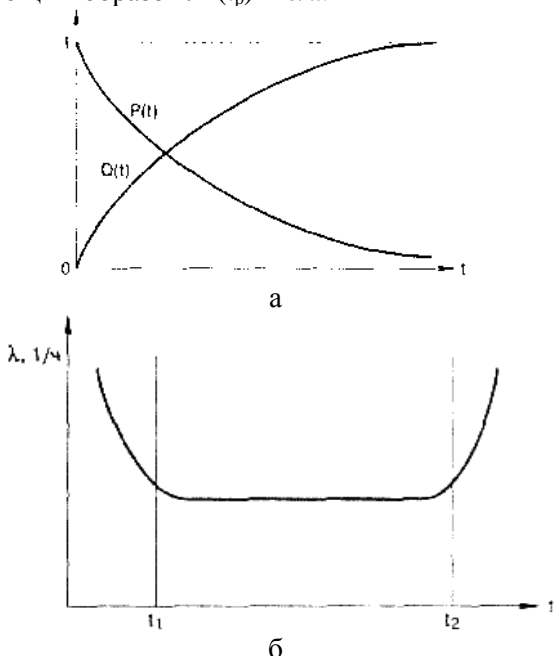


Рис. 2.2. Количественные характеристики надежности: а – вероятности безотказной работы  $P$  и отказа  $Q$ ; б – интенсивность отказов

Знак примерного равенства означает, что указанная характеристика носит вероятностный характер. Это значит, что ее точность и достоверность зависит от количества проведенных экспериментов: чем больше экспериментов, тем точнее полученное значение отражает свойства аппаратуры.

Вероятность безотказной работы представляет собой монотонно убывающую функцию времени  $t$ , причем  $P(0) = 1$ ,  $P(\infty) = 0$ . Предполагается, что вначале изделие исправно, а после некоторого времени, может быть очень большого, оно обязательно выйдет из строя.

Другой характеристикой надежности является вероятность отказа, которая связана с предыдущей характеристикой следующим соотношением:  $Q(t) = 1 - P(t)$ .

Для большинства радиоэлектронных устройств вероятность безотказной работы может быть определена по формуле  $P(t_p) = e^{-\lambda t_p}$ , где  $\lambda$  – интенсивность отказов.

Интенсивность отказов показывает, какая доля всех изделий или элементов данного типа в среднем выходит из строя за 1 час работы. Например, если  $\lambda=10^{-5}$ , то это означает, что за 1 час работы из строя выйдет одна стотысячная доля элементов, соответственно за 1000 часов работы можно ожидать выхода из строя одной сотой доли всех элементов данного типа. Если в устройстве имеется 100 таких элементов, то в среднем за каждые 1000 часов из строя выходит один элемент.

Величина интенсивности отказов РЭА зависит от времени. На графике, приведенном на рис. 2.2,б, время от начала работы до момента  $U$  называют периодом приработки. В течение этого времени из строя выходят элементы, имеющие грубые внутренние дефекты, оставшиеся незамеченными при выходном контроле. По мере выхода из строя таких элементов интенсивность отказов уменьшается и на отрезке  $U - h$  остается практически неизменной. Время, когда происходят отдельные случайные отказы, называют периодом нормальной работы.

При определении надежности аппаратуры имеют в виду то значение интенсивности отказов  $\lambda$ , которое имеет место в период нормальной работы. При этом исходят из того, что элементы с грубыми дефектами, отказы которых характерны для периода приработки, должны быть выявлены и заменены.

Рост интенсивности отказов после момента времени  $t_2$  объясняется износом элементов – старением диэлектрика конденсаторов, потерей эмиссии катодов лампы и т.д. Интенсивность отказов радиоэлектронной аппаратуры, состоящей из  $n$  различных элементов, определяют по формуле

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

где  $\lambda_1 + \lambda_2 \dots \lambda_n$  – интенсивности отказов 1-го, 2-го и  $i$ -го элементов с учетом всех воздействующих факторов.

Величина интенсивности отказов связана с другой характеристикой надежности - средней наработкой до отказа  $T_{cp}$ :  $\lambda = \frac{1}{T_{cp}}$  [1/ч].

Допустим, что какое-то количество изделий одного и того же типа эксплуатируется заданное время в определенных условиях (при заданных изменениях температуры окружающего воздуха, давления и т.д.). При этом регистрируется суммарное количество часов  $t_3$ , кото-

рое проработали все изделия, и количество возникших отказов  $N$ . В этом случае средняя наработка до отказа  $T_{cp} \approx t_3 / N$ .

Данная формула также носит вероятностный характер. Это значит, что время до появления отказа у одних изделий больше, а у других меньше значения, подсчитанного по вышеуказанной формуле. Естественно, что точность оценки средней наработки до отказа улучшается при увеличении количества проверяемых изделий. Чем больше  $T_{cp}$ , тем выше надежность изделия.

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  и средняя наработка до отказа  $T_{cp}$  достаточно полно характеризуют надежность невосстанавливаемых изделий. Однако большинство радиоэлектронных устройств конструируют так, чтобы при выходе из строя их можно было ремонтировать. Для них фактическая надежность зависит не только от того, как часто происходят отказы, но и от того, как много времени затрачивается на отыскание неисправности. Надежность таких изделий дополнительно характеризуют средним временем восстановления  $T_в$ . Если в рассмотренном примере регистрировать время, затраченное на отыскание и устранение каждой неисправности, а затем найти суммарное время  $t_в$ , то среднее время восстановления  $T_в \approx t_в / N$ .

Следует иметь в виду, что время, затраченное на отыскание и устранение конкретной неисправности, может быть больше или меньше  $T_в$ .

## 2.2. Надежность электрорадиоэлементов

Надежность электрорадиоэлементов (ЭРЭ) является одним из факторов, существенно влияющих на интенсивность отказов радиоэлектронных устройств. Интенсивность отказов ЭРЭ зависит от качества изготовления, условий эксплуатации, от электрических нагрузок в схеме и других факторов.

Влияние внешних факторов на надежность ЭРЭ можно оценить с помощью коэффициента нагрузки. Коэффициентом нагрузки  $K$  называют отношение действительного значения воздействующего фактора к его номинальному или максимально допустимому значению. Приведем примеры определения этого параметра для основных электрорадиоэлементов:

$$\text{— для транзисторов: } K = \frac{P_k}{P_{k\max}},$$

где  $P_k$  – фактическая мощность, рассеиваемая на коллекторе;  $P_{k\max}$  – максимально допустимая мощность рассеивания на коллекторе;

– для выпрямительных диодов:  $K = \frac{I}{I_{\max}}$ ,

где  $I$  – фактический выпрямленный ток;  $I_{\max}$  – максимально допустимый выпрямленный ток;

– для резисторов:  $K = \frac{P}{P_n}$ ,

где  $P$  – фактическая мощность, рассеиваемая на ЭРЭ;  $P_n$  – номинальная мощность;

– для конденсаторов:  $K = \frac{U}{U_n}$ ,

где  $U$  – фактическое напряжение, приложенное к конденсатору;  $U_n$  – номинальное напряжение конденсатора.

При увеличении коэффициента нагрузки интенсивность отказов увеличивается. Интенсивность отказов увеличивается также, если ЭРЭ эксплуатируются при более жестких условиях: повышенной температуре окружающего воздуха и влажности, повышенных вибрациях и ударах и т.д. В настоящее время наиболее изучено влияние на надежность коэффициентов нагрузки и температуры. В табл. 2.1 приведены ориентировочные значения интенсивности отказов для некоторых групп ЭРЭ при использовании их в бытовой, контрольно-измерительной и других подобных группах аппаратуры.

Таблица 2.1

Электрорадиоэлементы	$\lambda_0 * 10^{-6}, 1/\text{ч}$
Микросхемы:	
цифровые биполярные и запоминающие устройства на цилиндрических магнитных доменах	0,1
цифровые МОП	0,3
аналоговые	0,8
Оптоэлектронные полупроводниковые приборы:	
диоды, излучающие лучи инфракрасного диапазона, фотодиоды	0,1
диоды, излучающие лучи видимого диапазона	0,3
оптопары транзисторные	0,5
оптопары диодные	0,2
оптопары тиристорные и резисторные	1,0
Резисторы:	
постоянные непроволочные пленочные	0,008
постоянные непроволочные объемные	0,005

Продолжение табл. 2.1

Электрорадиоэлементы	$\lambda_0 * 10^{-6}, 1/\mu$
Резисторы:	
постоянные проволочные малогабаритные	0,010
постоянные проволочные регулируемые	0,040
переменные непроволочные	0,030
переменные проволочные	0,040
терморезисторы	0,003
варисторы	0,100
Конденсаторы:	
керамические дисковые, трубчатые, стеклокерамические, металлобумажные, металлопленочные	0,01
керамические высоковольтные, электролитические алюминиевые	0,30
керамические прочие, стеклянные, стеклоэмалевые, пленочные	0,02
слюдяные герметичные и бумажные	0,05
слюдяные прочие	0,1
оксидно-полупроводниковые	0,15
подстроечные керамические	0,50
Диоды:	
кремниевые выпрямительные, универсальные, импульсные, столбы выпрямительные, диодные блоки, варикапы, стабилитроны	0,10
германиевые выпрямительные и импульсные	0,05
Транзисторы биполярные и полевые (кроме СВЧ, мощных)	0,30
Тиристоры	0,50
Коммутационные элементы:	
пакетные, кулачковые, щеточные, галетные, переключатели и выключатели	0,50
микротумблеры, микропереключатели	0,15
Тумблеры и герконовые клавишные устройства	0,30
кнопки и кнопочные переключатели	0,20
Соединители:	
цилиндрические приборные нормальные	0,002
цилиндричес. приборные малогабаритные и миниатюрные	0,001
прямоугольные приборные нормальные	0,010
прямоугольные приборные малогабаритные	0,005
для печатных плат косвенного контактирования	0,002
для печатных плат прямого контактирования с золотым покрытием	0,005

Продолжение табл. 2.1

Электрорадиоэлементы	$\lambda_0 * 10^{-6}, 1/\mu$
Соединители: для печатных плат прямого контактирования прочие	0,010
контактные пары ламповых панелей	0,003
контактные пары «гнездо-вилка», зажимы	0,010
держатели предохранителей	0,030
Контактные пары электромеханических реле: с двойной герметизацией или с магнитоуправляемыми контактами	0.2
герметичные	0.5
залитые смолой или завальцованные	1,0
зачехленные	1.5
обмотки электромеханических реле:	0,05
дистанционных переключателей	0,10
прочих реле малой и средней мощности	
Трансформаторы:	
силовые	0,30
импульсные	0.05
выходные строчные	1,50
Дроссели, катушки индуктивности	0,10
Индикаторы:	
газоразрядные одноразрядные	1,70
газоразрядные матричные	10,00
вакуумные люминесцентные одноразрядные	0,30
вакуумные люминесцентные многоразрядные	0,70
жидкокристаллические	2,00
Индикаторы:	
полупроводниковые одноразрядные	0,15
полупроводниковые многоразрядные	0,25
лампы накаливания сигнальные	0,50
Пьезоэлектрические приборы:	
резонаторы кварцевые вакуумные и фильтры пьезокерамические	0,2
генераторы кварцевые	3,5
фильтры пьезоэлектрические кварцевые	0,4
фильтры пьезоэлектрические на ПАВ	0,9
Прочие изделия:	
линии задержки	0,6
головки магнитные	1,5
предохранители	0,1
плавкие вставки	0,3

Электрорадиоэлементы	$\lambda_0 \cdot 10^{-6}, 1/\mu$
Соединения:	
пайки	0,00010
сварки	0,00005
скрутки	0,00003
межсоединения в гибридных интегральных микросхемах	0,00005

Эти значения получены для случая, когда коэффициент нагрузки  $K=1$  и температура  $t=20$  °С; их будем обозначать  $A_0$ . Влияние на надежность фактического значения коэффициента нагрузки и температуры учитывают при помощи коэффициента влияния, а  $\lambda = a \lambda_0$ .

Значения коэффициента влияния (а) приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

t °С	Значение а при K, равном				
	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0
Постоянные пленочные углеродистые резисторы					
20	0,24	0,30	0,43	0,73	1,0
40	0,27	0,35	0,50	0,86	
60	0,34	0,45	0,64	1,2	
Постоянные проволочные резисторы					
20	0,13	0,20	0,30	0,60	1,0
40	0,15	0,22	0,35	0,75	1,27
60	0,17	0,27	0,45	1,04	
Непроволочные керметные и металлоокисные резисторы					
20	0,59	0,62	0,67	0,82	1,0
40	0,63	0,65	0,72	0,90	
60	0,70	0,74	0,82	1,06	
Переменные непроволочные композиционные пленочные резисторы					
20	0,15	0,24	0,36	0,66	1,0
40	0,20	0,32	0,50	0,94	
Переменные проволочные резисторы					
20	0,30	0,44	0,60	0,83	1,0
40	0,35	0,50	0,68	0,90	
60	0,56	0,82	1,1		

t °C	Значение $\alpha$ при $K$ , равном				
	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0
Слюдяные конденсаторы					
20	0,06	0,10	0,17	0,54	1,0
40	0,12	0,17	0,34	1,0	–
60	0,30	0,40	0,85	–	–
Керамические, стеклянные конденсаторы					
20	0,06	0,07	0,12	0,46	1,0
40	0,09	0,12	0,20	0,73	–
60	0,18	0,20	0,38	1,4	–
Пленочные и металлопленочные конденсаторы					
20	0,01	0,01	0,04	0,33	1,0
40	0,01	0,01	0,05	0,40	1,1
60	0,02	0,02	0,07	0,60	–
Электролитические алюминиевые конденсаторы					
20	0,14	0,17	0,26	0,60	1,0
40	0,23	0,27	0,40	0,94	–
60	0,52	0,60	0,90	–	–
Оксидно-полупроводниковые конденсаторы					
20	0,15	0,17	0,26	0,60	1,0
40	0,22	0,25	0,37	0,87	–
60	0,36	0,40	0,62	–	–
Электровакuumные, газоразрядные, электронные и фотолучевые приборы					
20	–	–	–	0,90	1,00
40	–	–	–	1,05	1,20
60	–	–	–	1,30	1,60
Трансформаторы и дроссели					
20...40	0,41	0,42	0,45	0,56	1,0
60	0,58	0,82	0,92	2,00	3,35
80	1,93	2,87	4,41	9,08	14,50
Терморезисторы					
t °C	1,0	1,15	1,5	3,0	7,0
Керамические, стеклокерамические и стекломалевые конденсаторы					
20	0,03	0,05	0,15	0,52	1,0
40	0,05	0,10	0,30	1,1	–
60	0,10	0,20	0,52	–	–



Как видно из табл. 2.2, значение  $a$ , а следовательно, и  $A$  для транзистора уменьшается в 50 раз при изменении коэффициента нагрузки в 10 раз (от 1 до 0,1); увеличение температуры в 4 раза приводит к возрастанию  $a$  и  $A$  в 5 раз. Аналогичные выводы можно сделать при анализе данных табл. 2.2 и для других типов ЭРЭ.

Таким образом, за счет облегчения температурных и электрических режимов можно существенно повысить надежность изделия.

Весьма эффективной мерой повышения надежности РЭА считается *резервирование*, предполагающее введение в нее некоторой избыточности. Резервирование используют в тех случаях, когда требуется обеспечить высокий уровень надежности (и, прежде всего, безотказности) устройства при недостаточно надежных составляющих его элементах. В зависимости от вида используемой избыточности различают следующие виды резервирования:

- **структурное** – это резервирование с применением дополнительных элементов структуры устройства. Резервные элементы, вводимые с помощью аппаратных или программных средств, принимают на себя функции ряда основных элементов в случае отказа последних. Примером структурного резервирования является дублирование, троирование элементов электронной аппаратуры, связанное с превышением требуемых аппаратурных затрат в несколько раз по сравнению с базовым вариантом;

- **функциональное** – это резервирование с использованием функциональных резервов. Суть его заключается в том, что при отказе одних элементов другие начинают выполнять и дополнительные для себя функции отказавших элементов. При этом деление устройства на основные и резервные элементы является условным. В качестве примера функционального резервирования можно назвать работу нескольких источников избыточной мощности на общую нагрузку;

- **временное** – это резервирование с использованием резервов времени. Структура устройства и характер его работы таковы, что возникающие отказы и сбои в течение ограниченного времени не нарушают работоспособности устройства. При этом можно отвести время на восстановление (ремонт) устройства при обнаружении отказа или же обеспечить многократное решение устройством поставленной задачи по одной и той же программе;

- **информационное** – это резервирование с использованием резервов информации. Этот вид резервирования применяется в тех случаях, когда возникновение отказа или сбоя приводит к потере или искаже-

нию некоторой части обрабатываемой или передаваемой информации. Для того чтобы компенсировать эти потери или устранить возникающие искажения, например, в цифровых устройствах, используются специальные корректирующие коды, обнаруживающие и исправляющие ошибки. Информационное резервирование успешно используется в таких способах передачи информации, как разговорная речь и письменный текст.

В зависимости от того, на каком уровне осуществляется резервирование – для устройства в целом или для отдельных его элементов – принято различать общее и раздельное резервирование.

**При общем резервировании** вместо одного электронного устройства предусматривается одновременная эксплуатация двух или более устройств – однотипных или аналогичных по выполняемым функциям, причем эти устройства могут быть и автономными.

**Раздельное резервирование** предполагает наличие специального резерва на случай отказа наименее надежных элементов (узлов и блоков) в составе электронного устройства.

Отношение числа резервных элементов к числу основных (резервируемых) называется кратностью резерва.

С учетом схемы включения резервных элементов выделяют постоянное резервирование и резервирование замещением.

**Постоянное резервирование** осуществляется без перестройки структуры устройства при возникновении отказа его элемента. Это достигается параллельным соединением основного и резервного элементов без применения переключающих устройств.

Отличительным признаком устройств, резервируемых замещением, является наличие специальных средств (аппаратных или программных), обеспечивающих выявление места отказа и замену отказавших элементов на резервные. Таким образом, функции основного элемента передаются резервному только после возникновения отказа основного элемента.

В случае, когда резервные элементы работают в том же режиме, что и основные, резерв называется нагруженным. Если же резервные элементы находятся в менее нагруженном (облегченном) режиме по отношению к основным, то резерв называют облегченным.

Пример использования ненагруженного резерва замещением показан на рис. 2.3. В этом случае резервные изделия отключены не только от нагрузки, но и от источника питания и источника сигнала.

Нагруженный замещающий резерв постоянно подключен к источнику питания. Включение этого резерва в работу устройства может

производиться специальными автоматическими устройствами или вручную оператором. Надежность аппаратуры при таком резервировании не отличается от надежности при постоянном резервировании, если не учитывать влияния переключающих устройств.



Рис. 2.3. Пример использования ненагруженного резерва замещением

**При резервировании замещением** с использованием ненагруженного резерва резервные устройства, пока они не пущены в работу, меньше подвержены опасности отказа, так как находятся в более легких условиях.

Поэтому надежность аппаратуры с таким резервом выше, чем у аналогичной аппаратуры с нагруженным резервом.

Однако для обеспечения надежности изделия в процессе производства и эксплуатации этого недостаточно. Дело в том, что значительная часть отказов происходит из-за ошибок и нарушений, допускаемых персоналом во время технологического процесса производства изделия. Для уменьшения количества таких ошибок необходимо минимизировать использование ручного труда.

Высокую надежность может иметь только аппаратура, при производстве которой широко используется автоматизация и механизация производственных процессов. Связано это с тем, что при ручных способах изготовления, например при ручной сборке и пайке, трудно добиться строгого соблюдения технологических режимов, обеспечивающих высокую надежность. В связи с этим наибольшую надежность имеет РЭА, в которой широко применяются микросхемы, микросборки и другие прогрессивные методы конструирования, позволяющие механизировать и автоматизировать процесс производства.

Надежность аппаратуры нужно рассчитывать на всех этапах проектирования по мере того, как уточняются данные о количестве и

типах используемых ЭРЭ, о конкретных условиях, в которых они работают. Надежность РЭА зависит также и от правильного соблюдения заданных условий эксплуатации, от своевременного и качественного проведения профилактического осмотра и ремонта.

Статические данные показывают, что до 25 % отказов происходит по вине эксплуатирующего персонала, поэтому в инструкциях по эксплуатации необходимо давать подробные правила работы с аппаратурой, а также методику профилактического ТО.

Выполнение перечисленных выше требований может существенно повысить эксплуатационную надежность РЭА.

### 2.3. Характеристики безотказности, ремонтпригодности, долговечности, сохраняемости, примеры расчета

Понятие безотказности является одним из важнейших в теории надежности. Под безотказностью понимается свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Основной количественной мерой является вероятность безотказной работы  $P(t)$  – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ работы объекта не возникает. "Наработка" – термин, определяющий продолжительность работы объекта.

Возникновение отказа – случайное событие, поэтому время появления отказа  $t_0$  – также случайная величина ( $t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0n}$ ).

Процесс появления отказов на оси времени показан на рис. 2.4.

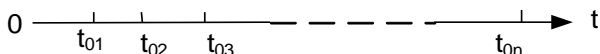


Рис. 2.4. Процесс возникновения отказов неремонтируемого объекта

Отказало  $n$  элементов из общего количества  $N$ . Обозначим через  $t_0$  время исправной работы объекта. Числовые значения времени  $t_0$  являются величинами случайными, принимающими значения  $t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0n}$ . Если взять любой произвольно выбранный элемент, то заранее нельзя сказать, сколько времени он проработает до отказа, но можно определить вероятность того, что он не откажет за некоторый интервал времени  $t_0$ . Тогда вероятность безотказной работы можно представить как вероятность того, что время безотказной работы  $t_0$  объекта больше некоторого заданного времени:

$$P(t) = P(t < t_0) \quad (2.1)$$

Естественно, что чем больше заданный промежуток времени, для которого определяется надежность, тем меньше значение безотказной работы, и наоборот.

Практически величина вероятности безотказной работы определяется статистическим путем по информации об отказах за выбранный промежуток времени  $t_i$ :

$$\bar{P}_i = (N - n_i) / N, \quad (2.2)$$

где  $N$  – число объектов в начале испытаний;  $n_i$  – число объектов, отказавших за время  $t_i$ .

При значительном числе объектов статистическая вероятность  $\bar{P}_i$  сходится к вероятности  $P(t)$ .

Надежность объекта иногда удобнее характеризовать вероятностью отказа:

$$q(t) = 1 - P(t) = P(t_0 < t) = P(t_0 < t). \quad (2.3)$$

Таким образом, вероятность появления отказа  $q(i)$  можно рассматривать как вероятность того, что случайная величина:  $t_0$  примет значение, меньшее рассматриваемого времени  $t$ . Это позволяет рассматривать  $q(t)$  как функцию распределения случайной величины  $t_0$  – времени до появления отказа.

Функциональные зависимости  $P(t)$  и  $q(t)$  показаны на рис. 2.5.

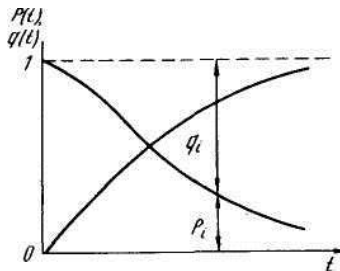


Рис. 2.5. Функциональные зависимости  $P(t)$  и  $q(t)$

### 2.3.1 Безотказность неремонтируемых объектов

Показателями безотказности неремонтируемых объектов (элементов) являются: вероятность безотказной работы  $P(t)$ , частота отказов  $f(t)$ , интенсивность отказов  $\lambda(Y)$  и средняя наработка до первого отказа  $T_{ср}$ . Под частотой отказов элементов понимают число отказов в единицу времени, отнесенное к первоначальному числу поставленных на испытание элементов.

По статистическим данным, частота отказов

$$\bar{f}_i = \Delta n_i / (N \Delta t_i), \text{ ч}^{-1}, \quad (2.4)$$

где  $\Delta n_i$  – число отказов в интервале времени  $\Delta t_i$ ;  $N$  – число испытываемых элементов;  $\Delta t_i$  – время испытаний.

При этом отказавшие в процессе испытаний элементы не заменяются новыми и число работающих элементов постепенно уменьшается. Функцию частоты отказов можно записать в следующем виде:

$$f(t) = [q(t + \Delta t) - q(t)] / \Delta t.$$

При  $\Delta t \rightarrow 0$  вероятность отказа за время от 0 до  $t$  может быть определена интегрированием функции  $f(t)$  в данном интервале, т.е.

$$q(t) = \int_0^t f(t) dt.$$

Тогда за время  $t$  вероятность безотказной работы:

$$P(t) = 1 - q(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt. \quad (2.5)$$

Чтобы получить зависимость между  $P(t)$  и  $f(t)$  в более наглядном виде, продифференцируем равенство (2.5) и получим

$$dP(t)/dt = -f(t), \text{ или } f(t) = -dP(t)/dt = -P'(t). \quad (2.6)$$

Таким образом, функция частоты отказов  $f(t)$  есть производная от функции  $P(t)$ , взятая с обратным знаком. Она характеризует скорость снижения надежности во времени. Так как

$$dP(t)/dt = dq(t)/dt,$$

то, заменив в равенстве (2.6)  $-P'(t)$  на  $q'(t)$ , получим

$$f(t) = dq(t)/dt = q'(t). \quad (2.7)$$

Но  $q(t)$  есть интегральный закон распределения времени безотказной работы  $t_0$ , производная от которого представляет собой плотность распределения вероятностей случайной величины  $t_0$ . Следовательно, функция частоты отказов  $f(t)$  – это плотность распределения времени безотказной работы, т.е. дифференциальный закон распределения случайной величины  $t_0$ . Выражения (2.5) – (2.7) определяют взаимосвязь  $P(t)$ ,  $q(t)$  и  $f(t)$ .

Для системы, состоящей из ряда последовательно соединенных элементов, вероятность безотказной работы может быть представлена в виде произведения вероятностей безотказной работы всех элементов:

$$P_c(t) = P_1(t) P_2(t) \dots P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t).$$

Критерием, наиболее полно характеризующим надежность неремонтируемых объектов, является интенсивность отказов  $\lambda(t)$ . В отличие от частоты отказов  $f(t)$  этот показатель характеризует надежность элемента в каждый данный момент, т.е. его локальную надежность. Под интенсивностью отказов понимают число отказов в единицу времени, отнесенное к среднему числу элементов, безотказно работающих в данный промежуток времени. При этом отказавшие элементы не заменяются.

Из опытных данных эта характеристика рассчитывается по формуле

$$\lambda = \Delta n_i / (N_{cp} \Delta t_i), \text{ ч}^{-1}, \quad (2.8)$$

где  $\Delta n_i$  – число отказов за промежуток времени  $\Delta t_i$ ;  $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$  – среднее число работоспособных элементов;  $N_i$  – число элементов, работоспособных в начале рассматриваемого промежутка времени;  $N_{i+1}$  – число элементов, работоспособных в конце промежутка времени  $\Delta t_i$ .

Интенсивность отказов  $\lambda(t)$  связана однозначной зависимостью с  $f(t)$  и  $P(t)$ . Для нахождения этой зависимости преобразуем формулу (2.8), разделив числитель и знаменатель  $N\Delta t_i$ , и, воспользовавшись соотношениями (2.2) и (2.4), получим:

$$\bar{\lambda}_i = \frac{\Delta n_i / N\Delta t_i}{N_{cp}\Delta t_i / N\Delta t_i} = \frac{\bar{f}_i}{(N - n_{cp}) / N} = \frac{\bar{f}_i}{\bar{P}_i}. \quad (2.9)$$

Переходя от дискретных понятий к непрерывным, с учетом формулы (2.6) получим:

$$\lambda(t) = f(t) / P(t) = -P^1(t) / P(t) = -dP(t) / dtP(t), \quad \text{или} \\ \lambda(t) dt = -dP(t) / P(t). \quad (2.10)$$

Решение этого дифференциального уравнения относительно  $P(t)$  имеет вид

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] + C. \quad (2.11)$$

Значение постоянной  $C$  найдем, воспользовавшись начальными условиями  $t = 0$  и  $P(0) = 1$ , следовательно,  $C = 0$ . Таким образом, окончательное решение дифференциального уравнения (2.11) имеет вид

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]. \quad (2.12)$$

Если объект содержит  $N$  последовательно включенных однотипных элементов, то  $\lambda_N(t) = N\lambda(t)$ .

При наличии  $K$  групп различных элементов получим:

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

Зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации для таких сложных объектов РЭА показана на рис. 2.6.

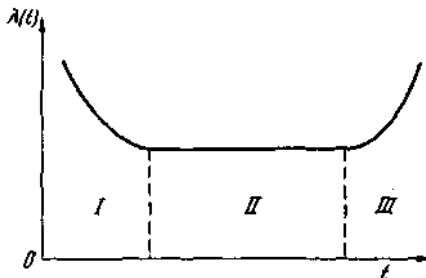


Рис. 2.6. Зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации: I — приработка; II — нормальная эксплуатация; III — старение

**Пример 2.1.** Испытывается  $N = 500$  изделий. За время  $t = 2000$  ч отказало  $n = 200$  изделий. За последующие  $\Delta t_i = 100$  ч отказало еще  $\Delta n_i = 100$  изделий. Определить  $\bar{P}(2000)$ ,  $\bar{P}(2100)$ ,  $\bar{f}(2050)$  и  $\bar{\lambda}(2050)$ .

**Решение.**

$$1. \bar{P} = \frac{N - n(2000)}{N} = \frac{500 - 200}{500} = 0,6; \quad \bar{P}(2100) = \frac{500 - 300}{500} = 0,2$$

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

$$\bar{\lambda}(2050) = \frac{\Delta n_i}{N_{CP} \Delta t_i} = \frac{100}{(300 + 200) / 2 \cdot 100} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

3. Интенсивность отказа можно определить и по формуле (2.9):

$$\bar{\lambda}(2050) = \bar{f}_i / \bar{P}_i; \quad \bar{P}(2050) = \frac{500 - 250}{500} = 0,5.$$

Тогда 
$$\bar{\lambda}(2050) = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

Средней наработкой до первого отказа  $T_{CP}$  называется математическое ожидание времени работы до первого отказа. Среднее время безотказной работы можно связать аналитической зависимостью с



$P\{t\}$ , пользуясь известным из теории вероятностей соотношением между математическим ожиданием случайной величины и дифференциальным законом ее распределения:

$$M_X = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx \quad (0 \leq x < \infty).$$

Но поскольку время безотказной работы не может иметь отрицательных значений, мы проведем интегрирование для  $T_{cp}$  от 0 до  $\infty$ . Тогда

$$T_{CP} = \int_0^{\infty} tf(t)dt = - \int_0^{\infty} tP^1(t)dt. \quad (2.13)$$

Интегрируя полученное выражение по частям, получим:

$$T_{CP} = -tP(t) \int_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt.$$

Очевидно, что  $tP(t) \int_0^{\infty} = 0$ , так как при верхнем пределе  $P(t)$

быстрее стремится к нулю, чем  $\Delta t \rightarrow \infty$  тогда:

$$T_{CP} = \int_0^{\infty} P(t) dt. \quad (2.14)$$

По данным испытаний,  $T_{cp}$  однотипных элементов определяется так:

$$\bar{T}_{CP} = \sum_{i=1}^N t_i / N, \quad (2.15)$$

где  $t_i$  – время исправной работы  $i$ -го элемента;  $N$  – общее число испытываемых элементов.

Практически знать время продолжительности исправной работы  $t_i$  всех элементов не представляется возможным. Тогда:

$$\bar{T}_{CP} = (\sum_{i=1}^m \Delta n_i t_{CPi}) / N, \quad (2.16)$$

где  $\Delta n_i$  - количество отказавших элементов в интервале времени  $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ ;  $t_i$  – время в начале  $i$ -го интервала;  $t_{i+1}$ , – время в конце  $i$ -го интервала, при этом  $t_{cpi} = (t_i + t_{i+1})/2$  и  $m = t_N / \Delta t$ ;  $t_N$  – время, в течение которого отказали все элементы.

Полученный показатель наиболее удобен для оценки надежности неремонтируемых объектов.

**Пример 2.2.** В результате наблюдения за  $N = 45$  неремонтируемых объектами РЭА получены данные до первого отказа всех 45 об-

разцов (табл. 2.3.). Требуется определить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, построить графики этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа  $\bar{T}_{cp}$ .

Таблица 2.3

$\Delta t_i, ч$	$\Delta n_i$	$\Delta t_i, ч$	$\Delta n_i$	$\Delta t_i, ч$	$\Delta n_i$
0 - 5	1	30 - 35	4	60 - 65	3
5 - 10	5	35 - 40	3	65 - 70	3
10 - 15	8	40 - 45	0	70 - 75	3
15 - 20	2	45 - 50	1	75 - 80	1
20 - 25	5	50 - 55	0	—	—
25 - 30	6	55 - 60	0	—	—

Решение.

$$1. \bar{P}(t) = (N - \Delta n) / N; \quad \bar{\lambda}(t) = \Delta n / N_{cp} \Delta t$$

Расчитанные по этим формулам данные сведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

$\Delta t_i, ч$	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40
$\bar{P}(t)$	0,98	0,87	0,69	0,64	0,53	0,4	0,31	0,25
$\bar{\lambda}(t) 10^{-3} ч$	4,5	2,41	45,7	13,3	37,7	57,1	50	48
$\Delta t_i, ч$	40 - 45	45 - 50	50 - 55	55 - 60	60-65	65-70	70-75	75 - 80
$\bar{P}(t)$	0,25	0,22	0,22	0,22	0,16	0,09	0,02	0
$\bar{\lambda}(t) 10^{-3} ч$	0	19	0	0	70,8	109	240	1200

Графики  $P(t)$  и  $\lambda(t)$  приведены соответственно на рис. 2.7 и 2.8.

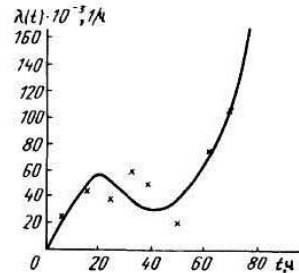
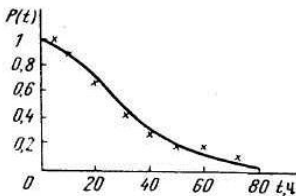


Рис. 2.7. Зависимость вероятности отказов от времени

Рис. 2.8. Зависимость интенсивности безотказной работы от времени

2. Средняя наработка до первого отказа:

$$\bar{T}_{CP} = (\sum_{i=1}^m \Delta n_i t_{CPi}) / N = \frac{1 \cdot 2,5 + 5 \cdot 7,5 + 8 \cdot 12,5 + \dots + 1 \cdot 77,5}{45} = 31,7 \text{ ч.}$$

### 2.3.2. Безотказность ремонтируемых объектов

Для ремонтируемых объектов характерно чередование исправного состояния и ремонта после отказа, т.е. процесс их эксплуатации можно представить как последовательное чередование интервалов времени работоспособного и неработоспособного состояний (рис. 2.9). Появление отказов в каждом из  $N$  объектов можно рассматривать как поток требований для ремонта.

Показателями безотказности ремонтируемых объектов являются: вероятность безотказной работы  $P(t)$ , параметр потока отказов  $\omega(t)$ , средняя наработка на отказ  $\bar{T}_0$ .

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

$$\bar{\omega} = \Delta n_i / (N \Delta t). \quad (2.17)$$

При этом число элементов в процессе опыта остается неизменным (отказавшие элементы заменяются новыми).

В сложном объекте (устройстве) результирующий поток отказов равен сумме потоков отказов отдельных устройств:

$$\omega_N = \sum_{i=1}^N \omega_i. \quad (2.18)$$

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

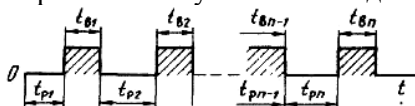


Рис. 2.9. Процесс эксплуатации ремонтируемого объекта

Для ремонтируемых объектов удобным для практики критерием надежности является среднее число часов работы между двумя соседними отказами, обычно называемое наработкой на отказ  $\bar{T}_0$ . Значения рассмотренных показателей могут быть найдены по результатам обработки статистического материала, полученного в ходе эксплуатации или же специально проводимых экспериментов с группой однотипных объектов.

Таким образом, если РЭА определенного типа проработала суммарное время  $t_{\Sigma}$  и имела при этом  $n$  отказов в работе, то наработка на отказ равна

$$\bar{T}_0 = t_{\Sigma} / n. \quad (2.19)$$

Если же испытаниям подвергаются  $N$  однотипных объектов, то необходимо просуммировать время исправной работы по всем объектам и разделить его на общее число отказов:

$$\bar{T}_0 = \sum_{i=1}^N t_i / \sum_{i=1}^N n_i. \quad (2.20)$$

Для простейшего потока параметр потока отказов  $\bar{\omega} = 1/\bar{T}_0$ .

### 2.3.3. Ремонтпригодность

Показатели ремонтпригодности вводятся для ремонтируемых объектов. Процесс ремонта, заключающийся в обнаружении и устранении отказа, является случайным. В качестве случайной величины берется среднее время ремонта, которое складывается из времени, затрачиваемого на обнаружение отказа, поиск причин его возникновения и устранение последствий отказа.

Для количественной оценки ремонтпригодности применяется два показателя:

- средняя продолжительность текущего ремонта  $\bar{T}_{m.p}$ ;
- средняя продолжительность технического обслуживания  $\bar{T}_{m.o}$ .

В данном разделе рассматривается только один показатель –  $\bar{T}_{m.p}$ , а другой показатель –  $\bar{T}_{m.o}$  – будет подробно рассмотрен далее.

Средняя продолжительность текущего ремонта есть математическое ожидание времени восстановления работоспособности:

$$T_{T.P} = \int_0^{\infty} T_{pi} f(t_p) dt, \quad (2.21)$$

где  $T_{pi}$  – время ремонта  $i$ -го объекта;  $f(t_p)$  – плотность распределения случайной величины времени ремонта.

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

$$\bar{T}_{TP} = (\sum_{i=1}^n T_{pi}) / n. \quad (2.22)$$

Величина, обратная средней продолжительности текущего ремонта  $\mu_p = 1/\bar{T}_{m.p}$ , называется интенсивностью ремонта и характеризует количество ремонтов, произведенных в единицу времени.

**Пример 2.3.** При эксплуатации радиоэлектронного устройства было зарегистрировано  $n = 20$  отказов, из них отказало: полупроводниковых приборов (ПП) – 6, резисторов и конденсаторов (Р и К) – 8, трансформаторов и дросселей (Т и Д) – 4, интегральных микросхем (ИС) – 2. На ремонт после выхода из строя ПП затрачивалось 15 мин, для Р и К – 10 мин, для Т и Д – 20 мин, для ИС – 25 мин. Найти среднее время ремонта.

**Решение.**

1. Находим вес отказов по группе элементов  $m_i = n_i / n$ .

$m_1 = 6/20 = 0,3$ ;  $m_2 = 8/20 = 0,4$ ;  $m_3 = 4/20 = 0,2$ ;  $m_4 = 2/20 = 0,1$ .

2.  $\bar{T}_{T.P} = \sum_{i=1}^4 t_{pi} \cdot m_i = 15 \cdot 0,3 + 10 \cdot 0,4 + 20 \cdot 0,2 + 25 \cdot 0,1 = 15 \text{ мин.}$

### 2.3.4. Долговечность

Под долговечностью понимается свойство объектов сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

В отличие от определения безотказности (где главным является непрерывность сохранения работоспособности), определение долговечности связано с сохранением работоспособности до заданного предела с необходимыми перерывами.

Для количественной оценки свойств объекта, объединяемых понятием "долговечность", используются единичные показатели долговечности: срок службы и ресурс. Эти показатели указываются в эксплуатационной документации (формуляр, паспорт и др.) и являются основанием для списывания объекта или отправки его в средний или капитальный ремонт.

Срок службы определяется календарной продолжительностью эксплуатации или ее возобновления после среднего (капитального) ремонта до предельного состояния. Для ремонтируемых и неремонтируемых объектов различают средний срок службы, средний срок службы до списания и гамма-процентный срок службы.

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

$$T_{cl} = \int_0^{\infty} t_{cl} f(t_{cl}) dt, \quad (2.23)$$

где  $t_{cli}$  – срок службы  $i$ -го объекта;  $f(t_{cl})$  – функция плотности распределения времени срока службы.

По статистическим данным

$$\bar{T}_{cl} = (\sum_{i=1}^N T_{cli}) / N, \quad (2.24)$$

где  $\bar{T}_{cli}$  – срок службы  $i$ -го объекта;  $N$  – количество объектов.

Средний срок службы до списания определяется временем от начала эксплуатации РЭА до ее списания, обусловленного предельным состоянием:

$$\bar{T}_{cl} = (\sum_{i=1}^N T_{СПi}) / N. \quad (2.25)$$

Гамма-процентный срок службы  $T_{сл\gamma}$  – срок службы, в течение которого объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ -процентов. Так, например, при  $\gamma = 95\%$  (95 %-ный срок службы) 95 % объектов данной партии не достигнут предельного состояния за установленный срок службы.

Гамма-процентный срок службы определяется выражением

$$-q(T_{сл\gamma}) = P(T_{сл\gamma}) = \gamma \cdot 100, \quad (2.26)$$

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

Применительно к ремонтируемым объектам различают дополнительно средний срок службы до среднего (капитального) ремонта и средний срок службы между средними (капитальными) ремонтами. Средний срок службы до среднего (капитального) ремонта  $T_{сл.ср}$  ( $T_{сл.к}$ ) – средний срок службы от начала эксплуатации до его первого среднего (капитального) ремонта. Средний срок службы между средними (капитальными) ремонтами  $T_{сл.м.ср}$  ( $T_{сл.м.к}$ ) – средний срок службы между смежными средними (капитальными) ремонтами.

Гарантийным сроком службы называют время, в течение которого выявляются дефекты, не обнаруженные при изготовлении объекта, а изготовитель при условии соблюдения потребителем правил эксплуатации объекта, в том числе правил хранения и транспортирования, обеспечивает выполнение установленных требований к объекту и несет ответственность.

Ресурсом называют наработку объекта от начала эксплуатации или же ее возобновления после среднего или капитального ремонта до наступления предельного состояния.

Для ремонтируемых и неремонтируемых объектов различают средний ресурс, назначенный ресурс и гамма-процентный ресурс.

Средний ресурс  $R_{cp}$  – математическое ожидание ресурса:

$$R_{cp} = \int_0^{\infty} r_i f(r) dr, \quad (2.27)$$

где  $r_i$  – ресурс работы  $i$ -го объекта (элемента);  $f(r)$  – функция плотности распределения величины  $r$ .

Назначенный ресурс  $R_H$  – суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния.

Гамма-процентный ресурс  $R_\gamma$  – наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью  $\gamma$ -процентов.

Для ремонтируемых объектов различают средний ресурс до среднего (капитального) ремонта  $R_{pp}$  ( $R_K$ ), средний ресурс между ремонтами  $R_{м.ср}$  ( $R_{м.к}$ ), средний ресурс до списания  $R_{сп}$ .

Средний ресурс до среднего (капитального) ремонта – это среднее время от начала эксплуатации объекта до его первого среднего (капитального) ремонта.

Средний ресурс между средними (капитальными) ремонтами – это среднее время между смежными ремонтами.

### *2.3.5. Средний ресурс до списания*

Средний ресурс до списания – это среднее время от начала эксплуатации до списания объекта при его предельном состоянии.

**Сохраняемость.** Немаловажным, особенно для объектов с длительными сроками хранения, является свойство объекта сохранять на этапах хранения и транспортирования свои заданные эксплуатационные свойства.

В процессе хранения в элементах аппаратуры происходят естественные физико-химические процессы, вызывающие их старение. Кроме того, на аппаратуру воздействуют различные факторы внешней среды, ускоряющие процесс старения элементов. Все это приводит к изменению свойств, а следовательно, и параметров комплектующих изделий (элементов), что в конечном счете приводит к изменению технических и эксплуатационных характеристик аппаратуры. При зна-

чительном изменении параметров элементов эти характеристики могут выйти за пределы эксплуатационных допусков и привести к отказу аппаратуры.

В качестве единичных показателей, позволяющих количественно определить сохраняемость, используют средний срок сохраняемости и гамма-процентный срок сохраняемости. Средний срок сохраняемости – математическое ожидание срока сохраняемости:

$$T_c = \int_0^{\infty} t_{ci} f(t_c) dt, \quad (2.28)$$

где  $f_{ci}$  – сохраняемость  $i$ -го объекта;  $f(t_c)$  – плотность распределения  $t_c$ .

По статистическим данным

$$\bar{T}_c = \left( \sum_{i=1}^N T_{ci} \right) / N, \quad (2.29)$$

Где  $N$  – количество объектов;  $T_{ci}$  – срок сохраняемости  $i$ -го объекта.

Гамма-процентный срок сохраняемости  $T_{c\gamma}$  – срок, в течение которого объект остается работоспособным с заданной вероятностью  $\gamma$  - процентов. Аналогично можно записать:

$$1 - q(T_{c\gamma}) = P(T_{c\gamma}) = \gamma \cdot 100, \quad (2.30)$$

где  $q(T_{c\gamma})$  – функция распределения срока сохраняемости.

### 3. РЕМОНТ БЫТОВОЙ РЭА

#### 3.1. Общие вопросы ремонта бытовой РЭА

Ремонт изделий бытовой РЭА в основном осуществляется в соответствии с общими принципами ремонта радиоэлектронной аппаратуры, но следует иметь в виду, что имеются и характерные отличия, связанные с технологией изготовления, спецификой использования, условиями эксплуатации и т.п.

Процедура ремонта любого радиоэлектронного изделия может быть представлена в виде последовательности мероприятий (рис. 3.1) основными из которых являются:

- установление факта неработоспособности;
- определение отказавшего блока (модуля);
- выявление неисправных электрорадиоэлементов в вышедшем из строя блоке (модуле);
- восстановление вышедших из строя блоков (модулей);
- контроль работоспособности устройства;
- регулировка устройства.



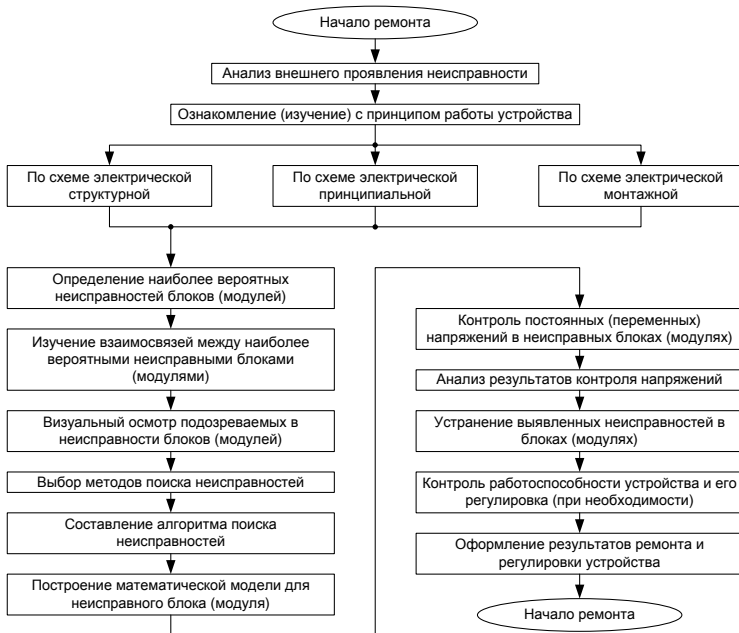


Рис. 3.1. Технологическая схема ремонта РЭА

Неисправности бытовой РЭА могут быть вызваны различными факторами. В первую очередь их можно разделить на механические и электрические. Механические неисправности связаны с поломкой или повреждением элементов различных кинематических схем привода, загрузки носителей информации, галетных или кнопочных переключателей, механизмов настройки и многих других и т.п., а электрические вызываются выходом из строя тех или иных элементов электрической принципиальной схемы, а также дефектами монтажа.

Большинство механических неисправностей, и в ряде случаев электрических, выявляются при проведении визуального осмотра аппаратуры. Визуальным осмотром определяют качество монтажа, отсутствие обрывов в печатных дорожках и проводниках, качество паяк (холодные пайки), а также контролируют соответствие номиналов резисторов и емкостей конденсаторов (рабочих напряжений) требованиям принципиальных схем. Часто при визуальном осмотре выявляются обуглившиеся резисторы, вздутые электролитические конденсаторы, наличие подтеков пропиточного материала в трансформаторах, механические повреждения в керамических конденсаторах и др.

О наличии электрических неисправностей в аппаратуре могут свидетельствовать запахи от перегретых обмоток трансформаторов, дросселей, резисторов, изменение тона звуковых колебаний, вызванных работой трансформаторов (гул с частотой 50 Гц). При проведении визуального осмотра необходимо вручную проверять качество крепления механических узлов (трансформаторов, дросселей, переключателей, электрических конденсаторов, переменных и полупеременных резисторов и др.).

После проведения ремонта РЭА проводится контроль ее работоспособности, который заключается в проверке нескольких технических параметров устройства. Например, проверяется, регулируется ли яркость и контрастность телевизионного изображения, громкость звукового сопровождения и т.д.

Если контроль работоспособности РЭА дал положительные результаты, то затем проводится ее регулировка. Регулировочно-настроечные работы имеют целью приведение технических параметров в соответствие с требованиями нормативно-технической документации и заключаются в том, что, не изменяя электрической схемы прибора и его конструкции, путем подбора элементов схемы или подстройки ЭРЭ, добиться получения оптимальных значений выходных параметров. Вначале производят регулировку отдельных блоков (модулей), а затем РЭА регулируется в комплексе.

Практика показывает, что найти причину неисправности в современной бытовой РЭА часто бывает значительно сложнее, чем устранить ее. Знание наиболее распространенных практических методов поиска места отказа позволит провести ремонт с наименьшими затратами времени и средств.

### **3.2. Описание моделей объектов ремонта**

Процесс поиска неисправностей в устройствах представляет собой совокупность элементарных проверок, т.е. физических экспериментов над ремонтируемым устройством, целью которых является изучение его реакции на некоторое воздействие. Выявить неисправность можно только в том случае, если существует такое тестовое воздействие, реакция на которое у работоспособного и неработоспособного устройства различна. В общем случае может существовать несколько элементарных проверок, позволяющих выявить определенное техническое состояние устройства. Они различаются множеством контрольных точек, видом и последовательностью входных тестовых воздействий.

Разнообразие перечисленных возможностей вызывает необходимость формализации разработки процесса поиска неисправностей в устройстве. Первый этап формализации предполагает наличие некоторого описания ремонтируемого устройства и его поведения в работоспособном и неработоспособном состояниях.

Такое формальное описание в аналитической, векторной, графической или табличной формах называют математической моделью ремонтируемого устройства.

Любое радиоэлектронное устройство характеризуется зависимостью множества выходных параметров  $Y = \{Y_k\}$  от множества входных  $X = \{X_k\}$  и внутренних  $A = \{A_k\}$  переменных. Поведение модели устройства в общем случае зависит от времени  $t$ :

$$Y = F(X, A, t). \quad (3.1)$$

Такая запись представляет собой систему передаточных функций работоспособного устройства.

Неисправность, возникшая в устройстве, приводит к искажению передаточных функций, характеризуемых множеством моделей неработоспособного объекта:

$$Y^i = F^i(X, A^i, t), \quad (3.2)$$

где  $I = 1, 2, 3, \dots, M$  – номера неисправных состояний.

Часто в явном виде задается только модель (3.1) работоспособного устройства, а модели (3.2) подлежат разработке. Для большинства сложных устройств обычно не удается составить модель (3.2), используя только внешние узлы – основные входы и выходы. Поэтому эта система уравнений должна включать описание внутренних, электрических и временных зависимостей, выявленных на расширенном множестве функциональных узлов.

Обозначим множество всех допустимых элементарных проверок ремонтируемого устройства  $P = \{P_j\}$ . Допустимыми будем считать все физически осуществимые элементарные проверки при поиске неисправностей. Каждая проверка характеризуется значением  $X_j$  воздействия, подаваемого на ремонтируемое устройство, составом контрольных точек и значением реакций устройства на эти воздействия. Число возможных результатов проверки определяется числом контрольных точек в устройстве и числом воздействий на него.

Ответные реакции  $R_j$  на входные воздействия  $X_j$  соответственно для работоспособного и неработоспособного устройства определяются следующими уравнениями:

$$R_j = F(P_j), \quad (3.3)$$

$$R_j^i = F^j(P_j^i). \quad (3.4)$$

Элементарные проверки позволяют обнаруживать любое состояние из множества неработоспособных состояний  $S_{НР}$  устройства, если найдется хотя бы одна проверка  $P_j$ , для которой ответные реакции у работоспособного  $R_j$  и неработоспособного  $R_j^i$  устройства различны, т.е.  $R_j \neq R_j^i$ .

Для разработки процедуры поиска неисправностей необходимо получать множество реакций для всех допустимых элементарных проверок  $P_j$  и выбрать те проверки из множества  $\{P_j\}$ , которые позволяют различить все состояния из множества технических состояний устройства  $S$ . Процесс поиска неисправностей при этом требует глубокого анализа результатов измерений, большого числа вычислительных операций и многократного сравнения их результатов.

Ввиду сложности аналитические методы разработки этого процесса нашли применение в тех случаях, когда устройства по схемным решениям просты и мощность множества технических состояний  $S$  ограничена (например, только с одиночными неисправностями), а элементарные проверки проводятся с помощью однотипных входных воздействий.

Более проста, наглядна и удобна при анализе и разработке процедуры поиска неисправностей табличная модель устройства. Таблица, отображающая реакции устройства на все допустимые элементарные проверки для всего множества возможных технических состояний, называется таблицей функций неисправности устройства (ТФН). Она представляет собой универсальную математическую модель устройства. Задание ТФН эквивалентно заданию моделей (3.2) и (3.3). Одна из таких ТФН приведена в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Техническое состояние		$S_1$	$S_2$	$S_3$	...	$S_k$	
Элементарные проверки	Заданная реакция	$R_1$	$R_3$	$R_5$	...	$R_n$	
	$P_1$	Реакция РЭУ на $P_1$	$R_2$	$R_4$	$R_6$	...	$R_m$
	$P_2$	Реакция РЭУ на $P_2$	$R_7$	$R_3$	$R_5$	...	$R_k$
	...		...	...	...	...	
	$P_n$	Реакция РЭУ на $P_n$	$R_1$	$R_3$	$R_5$	...	$R_n$

Анализ приведенной ТФН показывает, что элементарные проверки  $P_1$  и  $P_2$  позволяют установить факт наличия неисправностей в радиоэлектронном устройстве. Так, ответные реакции на первую элементарную проверку  $P_1$  не совпадают с заданными в таблице реакциями работоспособной РЭА, а именно:

$$R_1 \neq R_2, \quad R_3 \neq R_4, \quad R_5 \neq R_6, \quad R_n \neq R_m.$$

Вторая элементарная проверка  $P_2$ , проведенная после ремонта РЭА, установила, что  $R_1 \neq R_7$ , а  $R_n \neq R_k$ .

После повторного ремонта (а при необходимости и регулировки) элементарная проверка  $P_n$  не выявила отличия заданных и ответных реакций. Таким образом, после ремонта и регулировки аппаратуры ее техническое состояние стало работоспособным.

Очевидно, что достоверно обнаруживать неисправности в устройствах помогает множество элементарных проверок. Одна из задач оптимизации этого процесса – сокращение числа элементарных проверок, обеспечивающих требуемую глубину поиска неисправностей.

При проведении ремонта бытовой радиоэлектронной аппаратуры специалист может построить ТФН на основе таблиц, приводимых обычно в приложениях к сервисным инструкциям, технических паспортах и других документах. Пример такой ТФН приведен в табл. 3.2.

Первая элементарная проверка ( $P_1$ ) установила различие ответных реакций при контроле постоянных напряжений на выводах транзисторов VT1 (Э) и VT2 (Б), т.е. установила наличие неисправностей.

После детального анализа причин несоответствия полученных при измерении результатов, локализации и устранения неисправностей была проведена вторая элементарная проверка, в результате которой не выявлены различия заданных и ответных реакций при контроле постоянных напряжений на выводах транзисторов VT1-VT3.

Таблица 3.2

Измеряемый параметр	VT1			VT2			VT3		
	Напряжение, В			Напряжение, В			Напряжение, В		
Контрольные точки	К	Э	Б	К	Э	Б	К	Э	Б
Заданная реакция	-0,6	2,85	2,2	+0,6	-6,3	-0,9	+0,4	+3,9	+3,0
$P_1$ Измерено	-0,58	1,1	2,5	+0,63	-6,1	-1,5	+11,5	+0,1	+0,015
$P_2$ Измерено	-0,59	2,79	2,1	+0,59	-5,8	-0,92	+0,43	+3,7	+2,9

Часто в приложениях к сервисным инструкциям бытовой РЭА в таблицах кроме постоянных (переменных) напряжений, сопротивлений резисторов приводятся также эпюры напряжений на выводах транзисторов, микросхем или в характерных контрольных точках принципиальной схемы. Это значительно облегчает процесс поиска неисправностей.

Заметим, что, если в НТД не указаны допуски на отклонение параметров, то обычно их принимают равными  $\pm 20\%$  от значений, заданных в таблицах.

В большинстве случаев, если постоянные напряжения на выводах транзисторов, микросхем и других элементов находятся в зонах допусков, то, вероятнее всего, устройство работоспособно. Если же постоянные напряжения находятся в норме, а электрический сигнал на выходе устройства отсутствует, то неисправности следует искать во входных (согласующих) трансформаторах, разделительных конденсаторах (из-за обрывов в их обкладках), скрытых дефектах монтажа (СДМ) и т.п.

### **3.3. Методы поиска неисправностей в РЭА**

#### ***3.3.1. Метод анализа монтажа***

Метод анализа монтажа позволяет определить место дефекта или направление дальнейшего поиска с помощью таких органов чувств человека, как зрение, слух, обоняние и осязание. Его целесообразно применять на ранних этапах поиска неисправностей в аппаратуре, а также при аварийном режиме работы устройства. Дело заключается в том, что принципиальная схема устройства, сколь подробна она бы не была, не отражает наличие в нем всех компонентов, влияющих на общую работоспособность. Это относится ко всякого рода переключкам, изоляции, местам паяк и т.п.

Анализ монтажа может производиться как при включенном, так и при выключенном устройстве. Для этой цели лучше иметь увеличительную линзу (с двух- или трехкратным увеличением) и пинцет.

При визуальном осмотре могут быть обнаружены сгоревшие радиоэлементы, изменения их формы, цвета и размеров, трещины и отслоения печатных проводников, некачественная пайка, а также появление дыма и искрения.

Например, поверхность нормальной пайки должна быть гладкой, для «холодной» пайки характерна неровная, пористая поверхность. Неисправности некоторых элементов, таких, как импульсные транс-

форматоры, динамические головки, часто обнаруживаются на слух. Места чрезмерного нагрева тех или иных компонентов можно обнаружить, касаясь их рукой. При этом следует помнить об опасности поражения электрическим током, так как на отдельных участках схемы присутствуют высокие напряжения.

### *3.3.2. Метод измерений*

Метод измерений основан на использовании в процессе отыскания неисправности различных контрольно-измерительных приборов. Он является наиболее эффективным в тех случаях, когда уже имеется предварительная информация о предположительном местонахождении неисправности в блоке или модуле. При этом проводятся наблюдения формы электрических сигналов, измерения значений постоянных и переменных напряжений в характерных контрольных точках схемы устройства, измерения временных параметров сигналов (длительностей импульсов, задержек, частоты и т.д.). В результате анализа выявляются противоречия в работе узлов, отклонения параметров за границы зон допусков, и на их основе делается заключение о неисправности тех или иных ЭРЭ.

При проведении измерений используют вольтметры постоянного и переменного тока, осциллографы, частотомеры и другие приборы. Для наблюдений формы сигналов часто требуется наличие специальных испытательных генераторов, имитирующих входные воздействия. Следует помнить, что применяемые контрольно-измерительные приборы сами должны быть технически исправными и пройти метрологическую поверку.

Осциллографы являются, наверное, наиболее универсальными приборами, позволяющими проводить измерение параметров постоянных (при открытом входе) и переменных напряжений, временных параметров импульсов, частоты и периодов колебаний. Они позволяют визуально анализировать на экране электронно-лучевой трубки форму модулированных радиочастотных сигналов, оценивать коэффициент модуляции и степень искажений сигналов. Кроме того, осциллограф позволяет снять амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики трактов, измерить разность фаз двух колебаний (например, по фигурам Лиссажу) и осуществить многие другие комплексные измерения в широком диапазоне частот.

При выборе типа осциллографа как средства контроля, необходимо обращать внимание на величину его полосы пропускания и входного сопротивления, чтобы исключить погрешности, вызванные

несоответствием этих параметров и параметров исследуемых цепей и сигналов. Так, многие доступные по цене приборы этого вида имеют полосу пропускания до 50 МГц, что не позволяет использовать их в радиочастотных трактах УКВ - и FM-приемников, а некоторые высокочастотные осциллографы могут иметь входное сопротивление 50 Ом. При работе с осциллографом следует также знать и помнить, что он показывает мгновенные значения переменного напряжения и тока, в отличие от вольтметров и цифровых мультиметров, которые измеряют действующее значение напряжения  $U_d$  и тока  $I_d$ . В результате может обнаружиться кажущееся несоответствие показаний, которое устраняется простым пересчетом. Например, амплитудное значение напряжения  $U_m$ , измеренное с помощью осциллографа, связано с действующим значением следующей формулой:

### **3.3.3. Метод замены**

Метод замены весьма прост и позволяет достаточно быстро определять место неисправности в РЭА, но его использование возможно, если имеется заведомо исправный блок или модуль, которым можно заменить сомнительный модуль ремонтируемой аппаратуры. Естественно, что такой способ наиболее эффективен в изделиях, построенных по блочному принципу.

Если в результате проведенной замены работоспособность аппаратуры восстанавливается, то неисправность следует искать более детально в подозрительном модуле. В противном случае подобную же операцию можно произвести с другими составными частями изделия.

### **3.3.4. Метод эквивалентов**

Метод эквивалентов похож на предыдущий и заключается в замене части схемы ремонтируемого изделия другим узлом или какой-либо совокупностью радиоэлементов, оказывающим в результате такое же воздействие.

Такую операцию, например, можно произвести с источниками питания, эквивалентами нагрузок, генераторами сигналов и т. п.

### **3.3.5. Метод исключения**

Метод исключения состоит в том, чтобы из схемы неисправной аппаратуры изъять на некоторое время отдельные радиоэлементы или узлы и провести анализ работы устройства в целом.

Этот метод предполагает временное отсоединение или переключение выводов подозрительных радиоэлементов. Это в некоторых



случаях позволяет определить место неисправности или конкретно неисправный элемент.

Такое возможно, например, при временном перемыкании дросселей фильтров по питанию, дросселей в усилительных устройствах.

Кроме того, следует помнить, что электронные узлы, входящие в состав ремонтируемой аппаратуры, можно условно разделить на две группы: основные и вспомогательные. К основным узлам относятся такие, которые формируют выходные параметры устройства, а к вспомогательным – узлы, которые предназначены для обеспечения качества выходных параметров, например схемы АРУ, устройства защиты по напряжению и току и многие другие.

Исключение таких вспомогательных узлов позволяет определить, имеется ли неисправность в них или неисправен основной узел аппаратуры.

### ***3.3.6. Метод электрического воздействия***

Метод электрического воздействия позволяет получить информацию о местонахождении неисправностей в результате анализа реакции устройства на различные манипуляции, которые проводит специалист, осуществляющий ремонт РЭА. К таким манипуляциям относятся установка перемычек, изменение напряжения питания устройства, изменение положения движков переменных и подстроечных резисторов, замыкание контрольных точек на корпус, подключение работоспособного конденсатора параллельно другому радиоэлементу, подача электрических сигналов к различным участкам радиоэлектронного устройства и многие другие действия.

### ***3.3.7. Метод механического воздействия***

Метод механического воздействия (или метод простука) позволяет выявить дефекты монтажа. Его обычно применяют в тех случаях, когда неисправность носит «мерцающий» характер, т.е. проявляется периодически. Причинами таких неисправностей могут служить:

- 1) наличие «холодных» паяк в платах;
- 2) замыкание близко расположенных радиоэлементов между собою;
- 3) замыкание соседних дорожек на печатной плате каплями припоя, обрезками выводов радиоэлементов;
- 4) уменьшение упругости, загрязнения или деформация контактов в соединителях-держателях предохранителей, переменных резисторов и т. д.;

5) нарушение физической структуры материала и образование ненадежного механического контакта в местах пайки.

Поиск неисправностей с помощью метода механического воздействия проводится при включенной радиоаппаратуре.

Ненадежные контакты могут проявляться по-разному – либо кратковременно пропадать, либо быть уверенными и постоянными.

В первом случае плохой контакт можно определить путем аккуратных ударов резиновым молоточком по местам пайки радиоэлементов к печатным проводникам плат. При этом не следует наносить удары по сильно выступающим из паек выводам радиоэлементов, так как они могут загнуться и замкнуть соседние печатные проводники. В случае, если при подобном механическом воздействии неисправность проявилась, необходимо попытаться определить точное место плохого контакта. При этом можно использовать лупу, с помощью которой следует тщательно исследовать качество пайки монтажных элементов, или при помощи пинцета пошатать выводы радиоэлементов со стороны монтажа и наблюдать, не двигаются ли они в местах распайки.

Для определения плохого контакта во втором случае можно рекомендовать применение тонкой палочки, изготовленной из изоляционного материала, например, карандаша без грифеля, рукоятки тонкой отвертки и т.п. Его следует водить по плате попеременно в различных направлениях, наблюдая за реакцией устройства на эти действия. При поиске места ненадежного контакта необходимо чередовать нажим палочки на печатную плату от слабого (при уверенном проявлении неисправности) до значительного (когда неисправность проявляется слабо).

В качестве механического воздействия можно использовать и другие способы, например подергивание за проводники, жгуты, аккуратное изгибание печатной платы в различных плоскостях и т.д.

### ***3.3.8. Метод электропрогона***

Метод электропрогона применяют в тех случаях, когда неисправности носят неустойчивый характер, а метод механического воздействия не позволяет выявить эти неисправности. Электропрогон осуществляют путем включения радиоэлектронного устройства на длительный срок с повышенным напряжением питания (в пределах, допускаемых нормативно-технической документацией), с увеличением температуры (тепловой удар) и т.д. Он должен проводиться под постоянным наблюдением специалиста, осуществляющего ремонт аппаратуры.

Конечной целью электропрогона является превращение обратимых неисправностей в устройстве в необратимые. После достижения устойчивого проявления неисправности необходимо оперативно, чтобы не нарушить тепловой режим, провести либо измерение напряжения в характерных контрольных точках схемы, либо напряжений на выводах транзисторов (микросхем) и определить дефектный радиоэлемент.

### 3.3.9. Метод последовательного контроля

Метод последовательного контроля заключается в последовательной проверке прохождения электрического сигнала от блока к блоку, от каскада к каскаду до обнаружения неисправности.

Данный метод целесообразно применять при поиске неисправностей в устройствах, содержащих незначительное число каскадов, выполненных на транзисторах и микросхемах. Одновременно с контролем прохождения электрического сигнала контролируются значения постоянных напряжений на выводах транзисторов и микросхем, после чего их значения сравниваются со значениями, приведенными в таблицах технических описаний, инструкциях по эксплуатации и другой документации.

Метод последовательного контроля прохождения сигнала обычно используют по принципу «от конца к началу», т.е. сначала контроль наличия сигнала осуществляют в выходной части устройства, а затем постепенно перемещаются в сторону его входа, пока не будет обнаружен нормальный сигнал. На рис. 3.2 в качестве примера показана последовательность проверок при поиске неисправности в низкочастотном тракте аудиоаппаратуры.

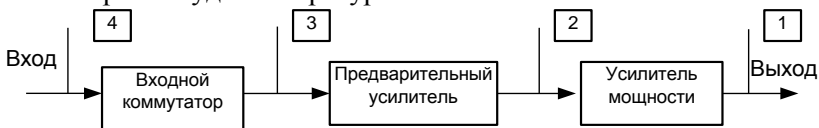


Рис. 3.2. Последовательность проверок при поиске неисправности в низкочастотном тракте аудиоаппаратуры

### 3.3.10. Метод половинного деления схемы

Метод половинного деления схемы обычно используют для контроля прохождения сигнала в многокаскадных радиоэлектронных устройствах. Он позволяет значительно сократить время поиска места отказа. Суть метода заключается в мысленном делении схемы устройства первоначально на две половины. Далее осуществляется проверка

наличия сигнала на выходе каскада, расположенного примерно в середине той половины, в которой имеется неисправность, и т.д., пока не будет обнаружен неисправный каскад. Последовательность проверок в этом случае показана на рис. 3.3.

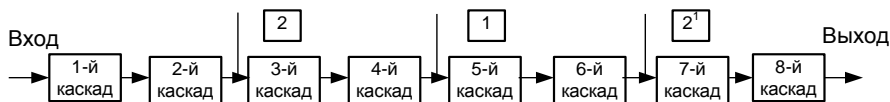


Рис. 3.3. Последовательность проверок при использовании метода половинного деления схемы

Если радиоэлектронное устройство, в котором наблюдается неисправность, имеет, например, 8 каскадов, то первую проверку наличия сигнала проводят на выходе 4-го каскада. Если при этом сигнал будет отсутствовать, то вторую проверку проводят на выходе 2-го каскада. Если же на выходе 4-го каскада сигнал имеется, а на выходе всего устройства, т.е. на выходе 8-го каскада, его нет, то вторую проверку проводят на выходе 6-го каскада, и т. д.

### **3.4. Неисправности активных и пассивных электрорадиоэлементов**

В большинстве случаев неисправности бытовой РЭА возникают по причине выхода из строя активных и пассивных электрорадиоэлементов. К активным ЭРЭ относятся интегральные микросхемы, транзисторы, тиристоры, стабилитроны и т.д. К пассивным относятся резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели и другие элементы. При проведении ремонтных работ необходимо уметь проводить контроль работоспособности активных и пассивных ЭРЭ как вне блоков (модулей), так и в их составе, т.е. без выпаивания их из плат, а также уметь определять неисправности конкретных ЭРЭ.

#### **3.4.1. Транзисторы**

В большинстве случаев транзисторы используются в аналоговых электронных устройствах, таких, как усилители, генераторы, стабилизаторы напряжения и тока, амплитудные ограничители и многие другие. Работоспособность биполярных транзисторов можно проверить при помощи омметра путем измерения сопротивлений переходов между базой и эмиттером, базой и коллектором в обоих направлениях. Значения сопротивлений по принципу «низкое»/«высокое» показаны на рис. 3.4.

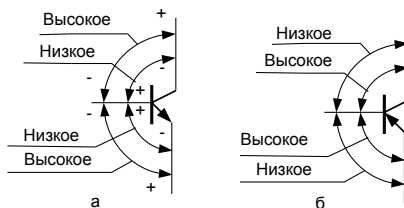


Рис. 3.4. Измерение сопротивлений переходов в  $n-p-n$  – (а) и  $p-n-p$  транзисторах – (б)

Необходимо отметить, что имеют место случаи, когда короткозамкнут участок цепи коллектор-эмиттер, несмотря на то, что оба перехода транзистора целы. Поэтому вначале нужно проверить, нет ли короткого замыкания в цепи коллектор-эмиттер.

Транзистор с периодическим обрывом перехода может оказаться временно работоспособным при его проверке с помощью омметра. В связи с этим более достоверным является контроль его режимов работы по постоянному току в различных схемах включения (рис. 3.5).

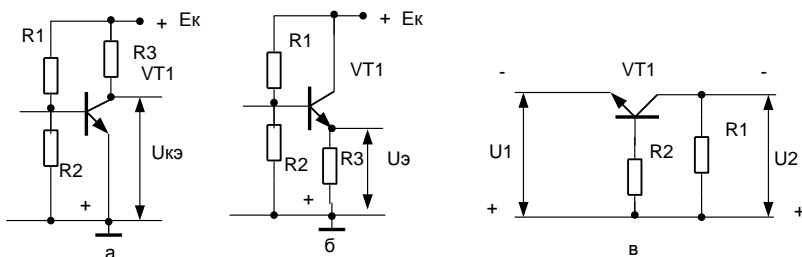


Рис. 3.5. Схемы включения транзисторов по постоянному току: а – схема с ОЭ; б – схема с ОК; в – схема с ОБ

### ***Неисправности транзисторов, включенных по схеме с общим эмиттером (ОЭ):***

1.  $U_{кэ} = 0$  – короткое замыкание между коллектором и эмиттером или транзистор находится в насыщении из-за неисправных ЭРЭ либо скрытых дефектов монтажа (СДМ) схемы. Режим насыщения переходов транзистора легко устранить, если закоротить его базовый вывод на общий провод. При этом у работоспособного транзистора указанное напряжение станет близким к  $E$  из-за того, что переходы «база-эмиттер» и «база-коллектор» закрываются и транзистор стягивается (существует такой термин) в «точку». Если этого не происходит, то транзистор неисправен и подлежит замене на работоспособный.

2.  $U_{кэ} = E_{к}$  – обрыв одного из переходов транзистора или транзистор находится в режиме отсечки из-за неисправных ЭРЭ, запирающего напряжения либо СДМ.

При этом в первую очередь необходимо проверить напряжение между базой и эмиттером, которое должно быть примерно таким:

$U_{бэ} \approx +(0,6 \dots 0,7)$  В – для транзистора *n-p-n*;

$U_{бэ} \approx +(0,6 \dots 0,7)$  В – для транзистора *p-n-p*.

Если напряжение  $U_{бэ}$  значительно отличается от указанного, то необходимо более тщательно проверить ЭРЭ и цепи, откуда поступает запирающее напряжение на базу транзистора.

**Неисправности транзисторов, включенных по схеме с общим коллектором (ОК):**

1.  $U_{э} = 0$  – обрыв одного из переходов или транзистор заперт.

2.  $U_{э} = E_{к}$  – транзистор «пробит» или находится в режиме насыщения. Режим насыщения определяется и устраняется также, как в схеме с ОЭ.

**Неисправности транзисторов, включенных по схеме с общей базой (ОБ):**

1.  $U_2 = 0$  – обрыв одного из переходов транзистора или транзистор заперт.

2.  $U_2 = U_1$  – транзистор «пробит» или находится в режиме насыщения. Режим насыщения определяется и устраняется так же, как и в схемах с ОЭ и ОК путем «закорачивания» базового вывода транзистора на общий провод.

При проведении ремонта РИП необходимо знать, как влияют те или иные элементы схемы на значения напряжений на выводах транзистора. Для примера рассмотрим схему резистивного усилителя (рис. 3.6).

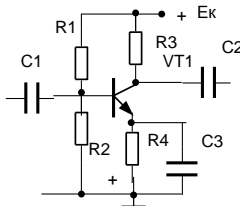


Рис. 3.6. Схема включения транзистора в усилительном каскаде

*Симптом 1:* пониженное напряжение на коллекторе транзистора VT1.

*Причины:* уменьшение напряжения питания  $E_k$ , «пробой» транзистора VT1, повышенные токи утечки конденсаторов C1, C2, C3, обрыв в резисторах R2, R3.

*Симптом 2:* повышенное напряжение на коллекторе транзистора VT1.

*Причины:* обрыв одного из переходов транзистора VT1, обрыв резисторов R1, R4.

Проверить режим насыщения транзистора можно путем параллельного подключения к резистору R1 дополнительного резистора близкого номинала, этим напряжением на коллекторе транзистора должно уменьшиться.

### **3.4.2. Микросхемы**

В бытовой РЭА широко применяются как аналоговые, так и цифровые интегральные микросхемы. Их использование повышает надежность приборов, уменьшает число электрорадиоэлементов, а следовательно, упрощает их ремонт. Однако при эксплуатации РЭА микросхемы достаточно часто выходят из строя.

Вывод о том, что микросхема неисправна, можно сделать лишь после проверки всех ЭРЭ, подключенных к ней. Вначале контролируют режим работы микросхемы по постоянному току с использованием эталонных данных, приводимых на принципиальных схемах или в сервисных инструкциях на конкретную модель РЭА. Пониженное напряжение на одном из выводов микросхемы может быть из-за наличия утечки подключенного к этой точке конденсатора, который при проверке можно отключить. После этого при помощи осциллографа контролируют правильность прохождения сигнала.

Для цифровых микросхем напряжения на выводах имеют два возможных уровня: низкий (логический ноль), например, для серий ТТЛ и ТТЛШ не более +0,4 В, и высокий (логическая единица) – не менее +2,4 В для указанных серий. Если подозрительной является простая по структуре микросхема – логический элемент, триггер и т.п., то можно смоделировать ее режим работы согласно таблице состояний (истинности). Отклонения в работе такой микросхемы от значений, приведенных в этой таблице, говорит о неисправности микросхемы. Сформировать сигнал логического нуля на любом из входов микросхемы можно, соединив этот вывод с общим проводом. Сигнал логической единицы получается, если подключить вывод через ограничительный резистор к проводу питания.

Более информативна проверка работоспособности микросхемы в динамическом режиме. При этом с помощью осциллографа контролируется прохождение сигналов, сформированных и подведенных на ее входы. При проверке микросхемы необходимо убедиться, что ее выход не шунтируется последующим каскадом, например, входом другой микросхемы. Для этого обычно аккуратно перерезают печатную дорожку, а после проведения необходимых проверок аккуратно пропаивают ее, восстанавливая контакт.

### 3.4.3. Тиристоры

В случае если тиристор не подключен к схеме, сопротивление между любой парой его электродов (анодом, катодом, управляющим электродом) должно быть велико независимо от полярности омметра, за исключением сопротивления участка «управляющий электрод-катод», имеющего низкую величину при положительном потенциале управляющего электрода.

Для контроля работоспособности тиристора можно рекомендовать устройство, выполненное по схеме, приведенной на рис. 3.7.

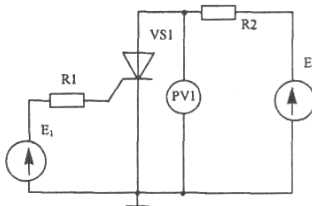


Рис. 3.7. Схема контроля работоспособности тиристора

Значение сопротивления  $R2$  должно удовлетворять требованиям  $I_{уд} < E_2 / R_2 < I_{max}$ , где  $E_2$  – напряжение, меньшее напряжения переключения тиристора ( $U_{пер}$ );  $I_{уд}$  – ток удержания при  $E_{уэк} = 0$  В,  $I_{max}$  – установленный прямой ток.

Контроль работоспособности тиристора проводится в следующей последовательности.

1. Установить напряжение  $E_{уэ} = 0$  В до подключения источника  $E_2$ .
2. Подключить источник  $E_2$  к тиристор.
3. Проконтролировать напряжение  $U_{ак}$ , значение которого должно быть близко к  $E_2$ .
4. Плавно увеличивать напряжение  $E_{уэ}$  и контролировать показания вольтметра PV1. Когда тиристор включится, вольтметр должен показать значение, близкое к нулю, т.е.  $U_{ак} \approx 0$  В.



5. Плавно уменьшать напряжение  $E_{y3}$  до нуля, напряжение между анодом и катодом тиристора останется неизменным, т.е.  $U_{ак} \approx 0$  В.

6. Восстановить первоначальное значение напряжения источника питания  $E_2$ . Если  $E_{y3} = 0$  В, то напряжение  $U_{ак}$  должно быть высоким.

7. Для проверки напряжения переключения тиристора  $U_{пер}$  следует соединить управляющий электрод с катодом и плавно повышать напряжение источника  $E_2$ , до тех пор, пока напряжение  $U_{ак}$  не станет низким. Значение напряжения источника  $E_2$ , при котором напряжение  $U_{ак}$  становится низким, равно напряжению переключения тиристора  $U_{пер}$ .

8. Для проверки обратного напряжения  $U_{обр}$  следует изменить полярность источника  $E_2$ , установить значение сопротивления резистора  $R_2$  в 10 раз больше, чем ранее (для ограничения значения обратного тока) и повторить испытание тиристора.

#### **3.4.4. Диоды**

Диоды в радиоэлектронных устройствах используются для выпрямления (детектирования) напряжения, защиты транзисторов (микросхем) от перегрузок по входу, коммутаций напряжений, преобразования частоты. Работоспособность диода можно проверить при помощи омметра, соединив положительный щуп с анодом, а отрицательный – с катодом диода, что соответствует прямому включению. Сопротивление диода при этом мало (десятки ом). При подключении диода в обратном направлении его сопротивление велико (сотни килоом).

Если проводить контроль работоспособности диода в составе модуля, когда через диод протекает электрический ток, то при измерении падения напряжения на нем можно получить следующие результаты: у работоспособных германиевых диодов между анодом и катодом вольтметр покажет напряжение  $U = 0,3...0,4$  В, а у кремниевых диодов  $U = 0,6...0,7$  В.

Основными неисправностями в диодах являются короткие замыкания, обрывы и изменения параметров под напряжением.

Если диод короткозамкнут, то омметр покажет в прямом и обратном включениях низкое, близкое к нулю, сопротивление. При обрыве омметр в обоих направлениях покажет большое сопротивление (близкое к бесконечности).

#### **3.4.5. Стабилитроны**

Контроль работоспособности стабилитронов, смещенных в пря-

мом направлении, осуществляется путем проверки значения его сопротивления таким же образом, как и у диодов. Для контроля работоспособности стабилитронов можно рекомендовать собрать схему, приведенную на рис. 3.8.

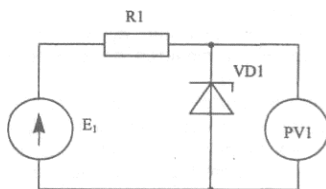


Рис. 3.8. Схема для контроля работоспособности стабилитронов

### **3.4.6. Резисторы**

Резисторы являются самыми многочисленными элементами в схемах РЭА. Проверить сопротивления резисторов можно с помощью омметра. Основной неисправностью у постоянных резисторов является увеличение сопротивления. Это чаще всего наблюдается у высокоомных (сотни килоомм и более) или у низкоомных (единицы ом) резисторов.

Обрыв в постоянных резисторах чаще всего выявляется при визуальном осмотре (нарушение окраски, черная поперечная окраска и т.п.).

Основной неисправностью переменных резисторов являются периодические обрывы в них из-за плохого контакта ползунка с резистивным слоем или из-за износа резистивного слоя, на что указывает неплавный (с рывками) ход стрелки омметра при передвижении ползунка. Типичной неисправностью этого элемента является также замыкание на корпус, когда резистор установлен на заземленном шасси или на металлизированной части печатной платы, соединенной с корпусом.

### **3.4.7. Конденсаторы**

Конденсаторы, как и резисторы, являются массовыми пассивными электрорадиоэлементами в схемах РЭА. На долю конденсаторов приходится значительное число неисправностей, причем их обнаружение бывает достаточно сложным. Основными неисправностями конденсаторов постоянной емкости являются пробой (обрыв) и снижение емкости.

Значительное снижение сопротивления утечки оксидных кон-

денсаторов приводит к нарушению режимов работы транзисторов и микросхем, к которым они подключены. Сложность обнаружения этой неисправности состоит в том, что она может проявляться под напряжением при работающем устройстве.

Снижение емкости конденсаторов в сглаживающих фильтрах приводит к увеличению пульсации выпрямленного напряжения. Изменение емкости конденсаторов в контурах неизбежно приводит к изменению АЧХ, а иногда и к самовозбуждению каскадов. Обрывы в разделительных конденсаторах вообще приводят к потере электрического сигнала.

Обрыв в конденсаторе постоянной емкости можно определить с помощью осциллографа. Если сигнальный и заземляющий щуп осциллографа соединить через работоспособный конденсатор, наводка должна либо уменьшиться, либо вообще исчезнуть. Обрыв можно также определить, если подключить генератор к осциллографу через проверяемый конденсатор. Отсутствие электрического сигнала на экране электронно-лучевой трубки, указывает на то, что конденсатор неисправен.

Электролитические конденсаторы на отсутствие обрыва можно проверить следующим способом. Соблюдая полярность омметра, подключить его к проверяемому конденсатору. При исправном элементе в первый момент стрелка должна быстро отклониться вправо (в сторону малых сопротивлений), а затем медленно возвратиться влево (в сторону больших сопротивлений). Обрыв в конденсаторе можно определить также, если подключить его к источнику постоянного напряжения. При этом должен раздаться характерный щелчок, а у его выводов проскочить небольшая искра.

Дополнительными признаками неисправности оксидных конденсаторов является вздутие корпуса, вытекание электролита, нагрев при работе и т.п.

### ***3.4.8. Трансформаторы и дроссели***

Основными неисправностями в трансформаторах и дросселях являются обрывы обмоток, межвитковые замыкания, замыкания одной обмотки на другую, замыкание обмоток на корпус и т.д. Обрывы обмоток в трансформаторах или межвитковые замыкания в них приводят к тому, что напряжение на выводах трансформаторов либо вообще отсутствует, либо сильно занижено.

Проверка на обрыв производится простым способом при помощи омметра. Наличие короткозамкнутого витка омметром определить

невозможно, но это можно сделать, собрав простую схему, приведенную на рис. 3.9.

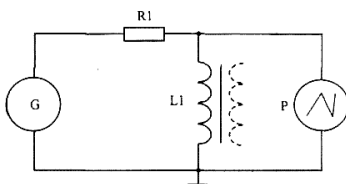


Рис. 3.9. Схема для определения короткозамкнутого витка в трансформаторе

На проверяемую обмотку L1 от генератора синусоидальных колебаний G через резистор R1 подают сигнал с частотой 1 кГц. Напряжение на обмотке контролируется визуально с помощью осциллографа P. Наличие дифференцированных импульсов указывает на то, что в обмотке имеется короткозамкнутый виток.

Кроме того, следует помнить, что существование в обмотке короткозамкнутого витка, как правило, приводит к нагреванию трансформатора.

### ***3.5. Пайка электрорадиоэлементов***

При проведении ремонта бытовой РЭА необходимо правильно осуществлять пайку электрорадиоэлементов. Пайка – это процесс сварки двух металлов.

Существенными параметрами процесса пайки являются ее продолжительность и температура. Типичная операция пайки может быть выполнена примерно за 1... 1,5 с при условии, что выбран правильный тип паяльника и жала. Оптимальная температура плавления припоя составляет 182 °С. Объединение металлов припоя и соединяемых проводников происходит при температурах 260...315 °С.

Основное действие пайки заключается в объединении меди и олова. При этом необходимо учитывать, что оба эти металла легко окисляются. Плохое или непропаянное соединение получается, если соединяемые поверхности загрязнены (жир, пыль и т.п.), поэтому необходимо производить пайку хорошим очищенным флюсом. Флюс подготавливает спаиваемые поверхности для лучшей металлизации. Вначале обрабатывают флюсом припой, а затем поверхность пайки, удаляя окислы и другие загрязнения. В результате металл нагревается так, что припой расплавляется, растекается, давая хорошее поверхностное соединение.

Следует отметить, что если температура жала паяльника слишком мала, то оно будет застревать на поверхности пайки. Если температура жала очень высокая, то оно может повредить поверхность платы. Оптимальная температура для пайки на плате находится в пределах 260...315 °С.

При пайке наконечник паяльника необходимо держать с одной стороны вывода ЭРЭ, а припой – с другой стороны. Как только контактная площадка прогреется, оловянно-свинцовый припой расплавится и залетит контактную площадку вместе с выводом ЭРЭ. Припой при этом необходимо держать низко и достаточно ровно.

Перед проведением пайки ЭРЭ необходимо убедиться, что детали работоспособны, затем зачистить их от окислов и грязи. В случае, если при пайке сорвалась или отклеилась от платы печатная дорожка, необходимо переключить поврежденный участок залуженным с обеих сторон проводом диаметром 0,2...0,3 мм. Если контактная площадка или дорожка поднимаются над платой, то необходимо их приклеить или провести внахлест дорожку по поврежденной области, после чего соскоблить покрытие с контакта или с обеих сторон дорожки так, чтобы новый контакт или дорожка смогли хорошо припаяться к имеющемуся контакту или дорожке. После этого следует удалить весь лишний припой и просверлить заново каждое отверстие, которое открылось или забилося остатками припоя.

Определенные проблемы возникают при удалении остатков припоя и выпаивании электрорадиоэлементов из печатной платы. Один из способов удаления остатков припоя заключается в использовании ручного вакуумного насоса с подпружиненным поршнем для вытягивания горячего, расплавленного припоя с контактов платы модуля. Этот процесс состоит из следующих операций: 1) нагреть паяльником старый припой до его расплавления; 2) поместить вакуумный насос со сжатой пружиной в горячий припой; 3) быстро удалить паяльник, в это же время освободить пружину вакуумного насоса и откачать припой в накопительную камеру.

Данный метод хорошо действует при выпаивании биполярных транзисторов или микросхем, не имеющих в своей структуре КМОП-транзисторов. Так как вакуумные насосы вырабатывают статическое электричество, выпаивать КМОП-транзисторы (микросхемы) опасно, потому что можно вывести их из строя.

Более безопасный способ удаления припоя заключается в следующем: 1) приложить к припою конец медной оплетки, затем прогреть оплетку в месте, близком от припоя; 2) медная оплетка быстро

прогрееется, передавая тепло припою, который расплавится и будет впитываться в оплетку за счет капиллярного эффекта; 3) отрезать и выбросить кусок оплетки, пропитанный припоем; 4) если в отверстии платы осталось какое-то количество припоя, необходимо нагреть стальную иголку, имеющую диаметр несколько меньший, чем у отверстия платы. Игла оставит отверстие открытым так, что можно вставить и запаять другой проводник. При использовании этого метода удаления припоя необходимо убедиться в хорошем заземлении паяльника.

В некоторых случаях удалить остатки припоя можно путем сверления отверстия тонким сверлом. После сверления отверстия необходимо убедиться, что все стружки, остатки и кусочки припоя из платы удалены.

При выпайивании ЭРЭ из платы также необходимо быть осторожным, чтобы ее не перегреть, так как при перегреве платы могут отслоиться печатные проводники (дорожки).

### **Заключение**

Во второй части пособия будут рассмотрены вопросы технической диагностики и организации ремонта радиоприемников, магнитофонов и проигрывателей компакт-дисков, в том числе гарантийного.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Хабаров В.Л., Куликов Г.В. Парамонов А.А. Техническая диагностика и ремонт бытовой радиоэлектронной аппаратуры: Учебное пособие. – М.: Горячая линия. Телеком, 2004.
2. Леонов А.И., Дубровский Н.Ф. Основы технической эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. – М.: Легпромгиздат, 1991.
3. Байлов В.В., Плаксиенко В.С. Эксплуатация и сервис радиоэлектронных систем: Учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002.
4. Дж. Джейкокс Руководство по поиску неисправностей: Пер. с англ. – М., 1989.
5. Основы эксплуатации РЭА/ Под ред. В.Ю. Лавриненко – М., 1978.
6. Байлов В.В., Плаксиенко В.С., Ярошенко А.А. Руководство к контрольной работе по дисциплине «Эксплуатация и сервис ЭЭС». – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2001.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Задачи контроля и диагностики РЭС БН.....	3
1.1. Основные понятия и определения.....	3
1.2. Классификация технических параметров и допусков.....	8
1.3. Критерии выбора совокупности технических параметров.....	12
2. Надежность РЭА.....	13
2.1. Основные параметры и определения.....	13
2.2. Надежность электрорадиоэлементов.....	19
2.3. Характеристики безотказности, ремонтпригодности, долговечности, сохраняемости. Примеры расчета.....	27
2.3.1. Безотказность неремонтируемых объектов.....	29
2.3.2. Безотказность ремонтируемых объектов.....	34
2.3.3. Ремонтпригодность.....	35
2.3.4. Долговечность.....	36
2.3.5. Средний ресурс до списания.....	38
3. Ремонт бытовой РЭА.....	39
3.1. Общие вопросы ремонта бытовой РЭА.....	39
3.2. Описание моделей объектов ремонта.....	42
3.3. Методы поиска неисправностей в РЭА.....	45
3.3.1. Метод анализа монтажа.....	45
3.3.2. Метод измерений.....	47
3.3.3. Метод замены.....	47
3.3.4. Метод эквивалентов.....	48
3.3.5. Метод исключения.....	48
3.3.6. Метод электрического воздействия.....	48
3.3.7. Метод механического воздействия.....	49
3.3.8. Метод электропрогона.....	50
3.3.9. Метод последовательного контроля.....	50
3.3.10. Метод половинного деления схемы.....	51
3.4. Неисправности пассивных и активных электрорадиоэлементов.....	51
3.4.1. Транзисторы.....	52
3.4.2. Микросхемы.....	54
3.4.3. Тиристоры.....	55
3.4.4. Диоды.....	56
3.4.5. Стабилитроны.....	57
3.4.6. Резисторы.....	57
3.4.7. Конденсаторы.....	58
3.4.8. Трансформаторы и дроссели.....	59
3.5. Пайка электрорадиоэлементов.....	60
Заключение.....	62
Библиографический список.....	62

