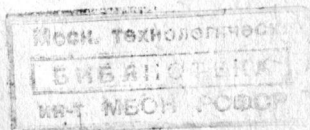




**А.И. Леонов
Н.Ф. Дубровский**

**ОСНОВЫ
ТЕХНИЧЕСКОЙ
ЭКСПЛУАТАЦИИ
БЫТОВОЙ
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ
АППАРАТУРЫ**

*Допущено Государственным комитетом
СССР по народному образованию в каче-
стве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся
по специальности "Радиотехника"*



МОСКВА
ЛЕГПРОМБЫТИЗДАТ
1991

ББК 32.844

Л 47

УДК 621.396.6(075.8)

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. *Н.С. Данилин* (МЭИ),
канд. техн. наук *Г.М. Лапшин* (ЦНИИбыт)

Леонов А.И., Дубровский Н.Ф.

Л 47 Основы технической эксплуатации бытовой радио-
электронной аппаратуры: Учебник для вузов. — М.:
Легпромбытиздат, 1991. — 272 с. — ISBN 5-7088-0425-4.

Изложены основы технической эксплуатации, методы оценки надежности при проектировании и эксплуатации бытовой радиоэлектронной аппаратуры. Рассмотрены основы теории ремонтпригодности и профилактического обслуживания, вопросы организации фирменного технического обслуживания, а также способы и аппаратура контроля и диагностики указанной аппаратуры.

Для студентов вузов радиотехнических специальностей отрасли бытового обслуживания.

Л 2302020200-073 73-91
044(01)-91

ББК 32.844

ISBN 5-7088-0425-4

© Леонов А.И., Дубровский Н.Ф.,
1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие радиовещания и телевидения обусловило появление значительного количества приборов, устройств и систем бытовой радиоэлектронной аппаратуры (РЭА). Это потребовало дальнейшего совершенствования организации ее ремонта, технического обслуживания, улучшения качества исполнения заказов и повышения культуры обслуживания населения.

Комплексная программа развития производства товаров народного потребления и сферы услуг на 1986—2000 гг. предусматривает коренное улучшение качества и ассортимента изделий, повышение технического и эстетического уровня их исполнения, надежности в эксплуатации. Определены меры по совершенствованию бытовой РЭА на основе использования новейших достижений микроэлектроники, микропроцессорных средств, расширенного производства переносных и портативных приборов.

В связи с этим предъявляются новые требования к эксплуатации бытовой РЭА — от предпродажной подготовки до технического обслуживания, контроля и восстановления работоспособности после отказа, снабжения. В широком смысле под эксплуатацией следует понимать процесс использования РЭА по назначению и поддержания ее в технически исправном состоянии.

В данном пособии с единых методических позиций излагаются основы технической эксплуатации бытовой РЭА. Рассматриваются вопросы надежности, технического обслуживания, ремонта, контроля состояния и диагностики, даются методы оценки различных эксплуатационных характеристик и показатели качества эксплуатации с учетом требований эргономики, приводятся основные положения по организации фирменного технического обслуживания бытовой РЭА.

Исходя из того, что наилучшим методом изучения теории является решение практических задач, в каждой главе приведены типовые задачи и дано их решение, а также составлены задачи для самостоятельного решения. Несмотря на то, что прикладные вопросы эксплуатации изложены применительно к бытовой РЭА, в целом учебное пособие содержит много общих вопросов, связанных с эксплуатацией

радиоэлектронной аппаратуры различного назначения и будет полезно студентам радиотехнических факультетов, обучающихся по специальности 2301 (радиотехника).

Книга написана по материалам открытой отечественной и зарубежной литературы с учетом требований государственных стандартов на аппаратуру и терминологию.

Предисловие, главы 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, приложения написаны проф., д-ром техн. наук А.И. Леоновым, главы 8, 9 написаны доц., канд. техн. наук Н.Ф. Дубровским.

Раздел I. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАДЕЖНОСТИ БЫТОВОЙ РЭА

Глава 1. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЫТОВОЙ РЭА

1.1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЫТОВОЙ РЭА

Бытовая РЭА предназначена для приема информации, передаваемой системами радиовещания, телевидения, проводного вещания, записи, преобразования, воспроизведения звука и изображения.

Вся бытовая РЭА подразделяется на семь видов.

1. Бытовая телевизионная аппаратура:
 - телевизор цветного изображения – ТЦ;
 - телевизор черно-белого изображения – ТБ;
 - телерадиоприемник цветного (черно-белого) изображения – ТРЦ (ТРБ);
 - телемагнитола цветного (черно-белого) изображения – ТМЦ (ТМБ);
 - видеомонитор цветного (черно-белого) изображения – ВТЦ (ВТБ);
 - телерадиокомплекс – ТРК;
 - телевизионный конвертор – ТК;
 - стереоскопический телевизор – ТС;
 - проекционный телевизор – ТП.
2. Бытовые радиоприемные устройства:
 - радиовещательный приемник – РП;
 - тюнер-усилитель – РУ;
 - тюнер – Т;
 - радиола – РЭ;
 - магнитола – РМ;
 - магниторадиола – РЭМ;
 - телерадиотюнер – ТРТ.
3. Бытовая аппаратура магнитной записи:
 - магнитофон катушечный – МК;
 - магнитофон кассетный – М;
 - магнитофон-приставка – МП;
 - магнитоэлектрофон – МЭ;
 - магнитофонный проигрыватель – МПР;
 - диктофон – ДФ.

4. Бытовая видеоаппаратура:
 - видеомагнитофон цветного (черно-белого) изображения – ВМЦ (ВМБ);
 - видеокамера цветного (черно-белого) изображения – ВКЦ (ВКБ);
 - видеомагнитофонная камера цветного изображения – ВМК;
 - видеоигра – ВИ;
 - видеола – ВПТ;
 - видеообучающее устройство – ВУ;
 - видеопроектор – ВП;
 - телетюнер – ТТ;
 - адаптер видеотекста – ВА.
5. Электрофоны и электропроекторы:
 - электрофон – ЭФ;
 - электропроектор – ЭП;
 - лазерный электропроектор – ЛП;
 - магнитоэлектрофон – МЭ.
6. Бытовая акустическая аппаратура:
 - акустическая система – АС;
 - активная акустическая система – АСА;
 - наушники – Н;
 - микрофон – МФ;
 - трехпрограммный приемник проводного вещания – ПТ;
 - трехпрограммное устройство проводного вещания – УПВ.
7. Усилители и вспомогательные устройства:
 - усилитель – У;
 - усилитель мощности – УМ;
 - усилитель предварительный – УП;
 - усилитель телевизионный антенный – УТ;
 - усилитель-корректор – УК;
 - устройство шумопонижения – Ш;
 - эквалайзер – Э;
 - звукопроцессор – ЗВП;
 - активная антенна – АА;
 - цветомузыкальное устройство – ЦМУ;
 - электромзыкальные инструменты – ЭМИ.

Кроме того, вся бытовая РЭА подразделяется на четыре конструктивные группы: I – стационарная; II – переносная; III – носимая; IV – транспортная (автомобильная).

Бытовая аппаратура магнитной записи, видеоаппаратура и бытовые радиоприемные устройства делятся на пять групп сложности: 0, 1, 2, 3 и 4.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ. ЗАДАЧИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для поддержания РЭА в исправном состоянии необходимо не только в совершенстве знать и владеть ею, но и уметь организовать и прово-

дить ее эксплуатацию на научных основах. При разработке теоретических основ эксплуатации должны решаться следующие задачи:

обоснование объема и содержания работ и мероприятий, проводимых на различных этапах эксплуатации;

разработка методов организации труда обслуживающего персонала и технологии различных видов работ в процессе эксплуатации;

определение состава эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ) и показателей, характеризующих качество эксплуатации;

разработка критериев и методов количественной оценки ЭТХ;

изучение и анализ факторов, влияющих на качество эксплуатации и ЭТХ, а также разработка рекомендаций по улучшению ЭТХ;

разработка основ автоматизации процесса эксплуатации;

исследование экономических проблем эксплуатации и внедрение результатов этих исследований в практику эксплуатации.

Рассмотрим ряд основных понятий и определений, применяемых для характеристики и описания эксплуатации.

Эксплуатация — это совокупность работ и организационных мероприятий для поддержания РЭА в постоянной технической исправности.

Процесс эксплуатации состоит из ряда этапов. Этап эксплуатации — это определенная, законченная по целевому назначению часть процесса эксплуатации. Обычно процесс эксплуатации РЭА состоит из следующих основных этапов: хранение, транспортирование, подготовка к применению, применение по назначению, техническое обслуживание, ремонт.

Условия эксплуатации — это совокупность факторов, действующих на РЭА при эксплуатации. К условиям эксплуатации относятся климатические условия, механические и электрические нагрузки, электромагнитные излучения, квалификация обслуживающего персонала, обеспеченность запасными частями.

Под хранением РЭА понимается содержание ее в технически исправном состоянии в течение установленного срока до реализации. В процессе хранения должны быть созданы благоприятные условия содержания техники, при которых обеспечивается сохранение ее работоспособности.

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

Подготовка РЭА к применению — это совокупность работ по подготовке аппаратуры к нормальному функционированию в соответствии с ее назначением и техническими условиями.

Применение РЭА по назначению — это совокупность работ, обеспечивающих нормальное функционирование аппаратуры в соответствии с техническими условиями.

Техническое обслуживание — это комплекс работ (операций) для поддержания РЭА в исправном или работоспособном состоянии

при подготовке и применении по назначению, хранении и транспортировании.

Ремонт — комплекс операций по восстановлению исправности или работоспособности и восстановлению ресурсов РЭА или ее составных частей.

В зависимости от степени старения, характера неисправностей, от сложности и объема работ ремонт подразделяют на плановый и неплановый. Плановым называют ремонт, постановка на который осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Неплановый — это ремонт, который осуществляется без предварительного назначения.

Ремонт, выполняемый для обеспечения или восстановления работоспособности объекта и состоящий в замене или восстановлении его отдельных частей, называется текущим. Он осуществляется после возникновения отказа и может выполняться на месте нахождения РЭА.

Ремонт, выполняемый для восстановления исправности и частичного восстановления ресурса объектов с заменой или восстановлением составных частей ограниченной номенклатуры и контролем технического состояния составных частей, выполняемом в объеме, установленном в нормативно-технической документации, называется средним.

Ремонт, выполняемый для восстановления исправности и полного или близкого к полному восстановлению ресурса объекта с заменой или восстановлением любых его частей, включая базовые, называется капитальным.

Эксплуатация бытовой РЭА имеет некоторые особенности. Так, подготовка к применению ее включает предпродажную подготовку, установку и регулирование аппаратуры после покупки на дому у владельца. Предпродажная подготовка предусматривает подготовку аппаратуры к работе, проверку ее работоспособности (при необходимости регулировку и настройку), а также 2-часовой электропробег аппаратуры в магазине с четырьмя отключениями от сети продолжительностью 15 мин каждое.

Другая особенность заключается в том, что в периоды между техническими обслуживаниями и ремонтами аппаратуру эксплуатирует сам потребитель, т.е. применение по назначению осуществляет владелец аппаратуры. Так как аппаратура не обладает абсолютной надежностью, то в этот период эксплуатации возникают неисправности и происходит уход параметров устройств за пределы допусков. Указанные обстоятельства требуют создания специальных ремонтных органов и проведения соответствующего периодического технического обслуживания бытовой РЭА на дому у владельца аппаратуры.

Задачами эксплуатации РЭА являются организация и проведение

различных мероприятий, обеспечивающих подготовку к использованию, использование по назначению, поддержание исправного состояния.

Под эксплуатационными свойствами РЭА понимают ее надежность, готовность к выполнению основных функций, приспособленность к техническому обслуживанию, экономичность. Рассмотрим каждое из этих свойств.

Надежность — это свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технических обслуживаний, ремонтов, хранения и транспортирования.

Готовность — это свойство объекта, характеризующее его приспособленность к переводу из любого исходного состояния в состояние непосредственного применения к назначению.

Приспособленность к техническому обслуживанию — свойство аппаратуры эффективно выполнять стоящие перед ней задачи при проведении технических обслуживаний заданной продолжительности с определенной периодичностью.

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

Надежность является одним из важнейших эксплуатационных свойств РЭА, так как она в значительной степени определяет эффективность применения аппаратуры по назначению, а также требуемый уровень надежности во многом определяет и стоимость изготовления РЭА.

Надежность является комплексным свойством. В зависимости от назначения РЭА и условий ее эксплуатации надежность может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность.

Безотказность — есть свойство объекта сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки. При этом под работоспособностью (работоспособным состоянием) понимают такое состояние РЭА, при котором она способна выполнять заданные функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией. Если же значение хотя бы одного заданного параметра не соответствует установленным требованиям, то объект находится в неработоспособном состоянии.

Более широким, характеризующим техническое состояние РЭА, является понятие "исправность", или "исправное состояние".

Под исправным состоянием понимают такое состояние РЭА, при котором оно соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией. Из этого определения видно, что понятие "исправность" шире, чем понятие "работоспособность",

так как РЭА может быть и неисправной, но работоспособной (удовлетворяющей требованиям обеспечения выполнения заданных функций), если она не удовлетворяет тем требованиям, которые не влияют на качество ее функционирования (например, требованиям по внешнему осмотру). Если РЭА не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в нормативно-технической документации, она считается неисправной.

Переход РЭА из одного состояния в другое называют событием.

Событие, заключающееся в нарушении исправного состояния РЭА или ее частей вследствие различных воздействий и в переходе ее в неисправное состояние, называют повреждением.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности аппаратуры, называют отказом. Как следует из определения, под отказом нужно понимать не только полную потерю работоспособности, но и ее ухудшение вследствие изменения значения параметров.

Отказы подразделяются:

1) по характеру изменения параметров до момента возникновения отказа — на внезапные и постепенные.

Внезапным называют отказ, характеризующийся скачкообразным изменением одного или нескольких параметров.

Постепенным называют отказ, характеризующийся постепенным изменением значений одного или нескольких заданных параметров;

2) по взаимосвязи между собой — на зависимые и независимые.

Зависимым называют отказ элемента объекта, обусловленный отказом другого элемента.

Независимым называют отказ элемента объекта, не обусловленный отказами других элементов;

3) по характеру времени нарушения работоспособности — на сбой и перемежающиеся.

Сбоем называют самоустраняющийся отказ, приводящий к кратковременному нарушению работоспособности.

Перемежающимся отказом называют многократный возникающий сбой одного и того же характера;

4) по наличию внешних признаков — на явные и неявные.

Явный — это отказ, который обнаруживается сразу после его появления без применения измерительных приборов.

Неявный (скрытый) — это отказ, который не имеет внешних признаков проявления и может быть обнаружен только с помощью соответствующих измерений;

5) по причинам возникновения — на конструкционный, производственный и эксплуатационный.

Конструкционным называют отказ, возникающий в результате нарушения установленных правил или норм конструирования объекта.

Производственным называют отказ, возникший в результате

нарушения установленного процесса изготовления или ремонта объекта.

Эксплуатационным называют отказ, возникший в результате нарушения установленных правил или условий эксплуатации объекта.

Кроме того, вся РЭА и ее составные части делятся на ремонтируемые и неремонтируемые. Ремонтируемым называют такой объект, исправность и работоспособность которого в случае возникновения отказа или повреждения подлежит восстановлению. Объект, у которого исправность и работоспособность не подлежат восстановлению, называется неремонтируемым.

Под ремонтпригодностью понимают свойство РЭА, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения ее отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

В процессе эксплуатации РЭА может транспортироваться, а также храниться иногда в течение длительного времени.

Свойство РЭА непрерывно сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после хранения, транспортирования называется сохраняемостью.

Долговечность — это свойство РЭА сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов. Предельным называют такое состояние, при котором дальнейшая эксплуатация РЭА должна быть прекращена по следующим причинам:

- неустранимого нарушения требований безопасности;
- неустранимого ухода заданных параметров за установленные пределы;
- неустранимого снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой.

Признаки предельного состояния устанавливаются нормативно-технической документацией.

1.3. ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Рассмотренные выше понятия и определения являются качественными характеристиками. Для количественного выражения надежности, готовности, экономичности используются эксплуатационно-технические показатели.

Выбор возможного перечня показателей проводят с учетом определенных требований:

- возможность оценивать соответствующие характеристики в различных условиях и на разных этапах эксплуатации;
- возможность их числового определения или задания;

возможность их расчета по данным эксплуатации и проектирования;

достаточная универсальность;
простота и удобство применения.

В зависимости от условий получения необходимых для расчета данных показатели называют: оценочными, опытными, прогнозируемыми, экстраполированными.

Для оценки эксплуатационных свойств РЭА применяются показатели безотказности, ремонтпригодности, долговечности, сохранности, готовности и эксплуатационно-экономические.

1. Показатели безотказности для неремонтируемого объекта:
вероятность безотказной работы — $P(t)$;
частота отказов — $f(t)$;
интенсивность отказов — $\lambda(t)$;
средняя наработка до отказа — $T_{ср}$.

Показатели безотказности для ремонтируемого объекта:

вероятность безотказной работы — $P(t)$;
параметр потока отказов — $\omega(t)$;
средняя наработка на отказ — T_{ω} ;

2. Показатели ремонтпригодности:

средняя продолжительность текущего ремонта — $T_{тр}$;
средняя продолжительность технического обслуживания — $T_{т.о}$.

3. Показатели долговечности для неремонтируемого объекта:

средний срок службы — $T_{сл}$;
средний срок службы до списания — $T_{сп}$;
гамма-процентный срок службы — $T_{сл\gamma}$;
средний ресурс — $R_{ср}$;
назначенный ресурс — $R_{н}$;
гамма-процентный ресурс — R_{γ} .

Показатели долговечности для ремонтируемого объекта:

средний срок службы — $T_{сл}$;
средний срок службы до списания — $T_{сп}$;
гамма-процентный срок службы — $T_{сл\gamma}$;
средний срок службы до капитального (среднего) ремонта — $T_{сл.к}$ ($T_{сл.ср}$);
средний срок службы между капитальными (средними) ремонтами — $T_{сл.м.к}$ ($T_{сл.м.ср}$);
средний ресурс — $R_{ср}$;
назначенный ресурс — $R_{н}$;
гамма-процентный ресурс — R_{γ} ;
средний ресурс до капитального (среднего) ремонта — $R_{к}$ ($R_{ср}$);
средний ресурс между капитальными (средними) ремонтами — $R_{м.к}$ ($R_{м.ср}$);
средний ресурс до списания — $R_{сп}$.

4. Показатели сохраняемости:
 - средний срок сохраняемости — T_c ;
 - гамма-процентный срок сохраняемости — $T_{c\gamma}$.
5. Показатели готовности:
 - коэффициент готовности — K_T ;
 - коэффициент оперативной готовности — $K_{o.r}$;
 - коэффициент технического использования — $K_{т.и}$.
6. Эксплуатационно-экономические показатели:
 - средняя трудоемкость текущего ремонта — $S_{т.р}$;
 - средняя трудоемкость технического обслуживания — $S_{т.о}$;
 - коэффициент эффективности профилактики — $K_{эф.п}$;
 - коэффициент стоимости эксплуатации — $K_{ст.э}$.

1.4. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ И МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Возникновение отказов в РЭА зависит от различных факторов, определяемых как внутренними свойствами аппаратуры, так и воздействием внешних условий. Это приводит к тому, что процесс возникновения отказов, а также другие характеристики РЭА в процессе эксплуатации носят случайный характер. Поэтому для количественной оценки различных характеристик РЭА широко используются вероятностные методы.

В теории вероятностей случайной называется величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, предугадать которое заранее и достоверно невозможно.

Все случайные величины делятся на непрерывные и дискретные. Примерами непрерывных случайных величин являются время безотказной работы устройства, значение того или иного технического параметра и т.д. Дискретными случайными величинами являются число отказов, возникающих за определенный период работы устройства, число неисправных устройств и т.д.

Событием в теории вероятностей считается всякий факт, который в результате опыта может произойти или не произойти. Для количественного сравнения между собой событий по степени их возможности используется определенное число, которое тем больше, чем более возможно событие. Такое число называется вероятностью события.

Если вероятность одного события не изменяется от того, произошло или не произошло другое событие, то такие события называются независимыми. Если же возможность появления одного события зависит от того, произошло или не произошло другое событие, то такие события называются зависимыми. События называются несовместными, если никакие два из них не могут появиться вместе. Событие, вероятность которого равна единице, называется достовер-

ным событием. Событие, вероятность которого близка к единице, называется практически достоверным.

На основе введенных понятий рассмотрим основные теоремы теории вероятностей, которые широко применяются при решении многих задач надежности.

Теоремы сложения и умножения вероятностей. Вероятность суммы n несовместных событий равна сумме вероятностей этих событий:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A_i). \quad (1.1)$$

Вероятность произведения независимых событий равна произведению вероятностей этих событий:

$$P(A) = \prod_{i=1}^n P(A_i). \quad (1.2)$$

На практике редко встречаются задачи, в которых нужно применять только теорему сложения или только теорему умножения вероятностей. Обычно обе теоремы приходится применять совместно.

Теорема полной вероятности. На основании теоремы сложения и умножения формулируется теорема полной вероятности. Допустим, что нужно определить вероятность некоторого события A , которое может произойти вместе с одним из событий H_1, H_2, \dots, H_n , образующих полную группу несовместных событий, называемых гипотезами. Тогда теорема полной вероятности

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) P(A/H_i), \quad (1.3)$$

т.е. вероятность события A вычисляется как сумма произведений вероятности каждой гипотезы на вероятность события при этой гипотезе.

Пример 1.1. На складе находится 100 приборов, из них 50 исправные, 30 не имеют отказов и 20 отказавших. Найти вероятность того, что взятый наугад прибор окажется работоспособным.

Решение. Рассмотрим события:

A — выбор работоспособного прибора;

A_1 — выбор исправного прибора;

A_2 — выбор безотказного прибора.

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

Пример 1.2. В шкафу находится шесть однотипных приборов. Вначале опыта все они новые. Для временной эксплуатации берут наугад два прибора. После эксплуатации их возвращают в шкаф. По внешнему виду используемые приборы не отличаются от новых.

Найти вероятность того, что после трехкратного выбора и эксплуатации не останется новых приборов.

Решение. Событие A , заключающееся в том, что не останется новых приборов, может произойти единственным способом: и первый раз, и второй, и третий из шкафа будут взяты новые приборы.

Рассмотрим события:

A_1 — выбор новых приборов первый раз;

A_2 — выбор одного нового прибора при первом вынимании при вторичном выборе;

A_3 — выбор одного нового прибора при втором вынимании при вторичном выборе;

A_4 — выбор одного нового прибора при первом вынимании при трехкратном выборе;

A_5 — выбор одного нового прибора при втором вынимании при трехкратном выборе.

$$\begin{aligned} \text{Тогда } P(A) &= P(A_1) P(A_2/A_1) P(A_3/A_2) P(A_4/A_2) P(A_5/A_4) = \\ &= 1 \cdot 4/6 \cdot 3/5 \cdot 2/6 \cdot 1/5 = 0,027. \end{aligned}$$

Пример 1.3. Каждое изделие, выпускаемое заводом, может иметь дефект (вероятность дефекта $P_d = 0,95$). После изготовления изделие осматривается двумя контролерами. Первый контролер обнаруживает дефект с вероятностью $P_1 = 0,8$, второй — с вероятностью $P_2 = 0,9$. Определить вероятность того, что изделие будет забраковано.

Решение 1. Рассмотрим события:

A — дефект обнаружен;

A_1 — дефект обнаружен первым контролером;

A_2 — дефект обнаружен вторым контролером.

$$2. \text{ Событие } A = A_1 A_2 + A_1 \bar{A}_2 + \bar{A}_1 A_2,$$

где \bar{A}_1, \bar{A}_2 — необнаружение дефекта первым и вторым контролерами.

$$\begin{aligned} 3. P(A) &= P_d [P(A_1 A_2) + P(A_1 \bar{A}_2) + P(\bar{A}_1 A_2)] = \\ &= 0,95 [0,8 \cdot 0,9 + 0,8 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,9] = 0,931. \end{aligned}$$

4. Проиллюстрируем принцип целесообразности применения противоположных событий в теории вероятностей. Перейдем от прямого события A к противоположному. Если \bar{A} — необнаружение дефекта, то очевидно, что $\bar{A} = \bar{A}_1 \bar{A}_2$.

$$\text{Тогда } P(\bar{A}) = P(\bar{A}_1) P(\bar{A}_2) = 0,2 \cdot 0,1 = 0,02.$$

$$\text{Откуда } P(A) = P_d [1 - P(\bar{A})] = 0,95 (1 - 0,02) = 0,931.$$

Пример 1.4. Радиоэлектронный прибор может работать в двух режимах — нормальном и ненормальном. Нормальный режим наблюдается в 90% всех случаев работы прибора, ненормальный — в 10%. Вероятность выхода прибора из строя за время t в нормальном режиме равна 0,2, а в ненормальном режиме 0,7. Найти вероятность выхода прибора из строя за время t .

Решение 1. Событие A — выход прибора из строя. Формулируем гипотезы: H_1 — выход из строя прибора в нормальном режиме

работы; H_2 — выход из строя прибора в ненормальном режиме работы.

$$2. P(H_1) = 0,9; P(H_2) = 0,1; P(A/H_1) = 0,2; P(A/H_2) = 0,7.$$

$$3. \text{ По формуле (1.3) находим } P(A) = P(H_1)P(A/H_1) + P(H_2)P(A/H_2) = 0,9 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,7 = 0,25.$$

Законы распределения случайной величины. Законом распределения случайной величины называется соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Считают, что случайная величина в этом случае подчинена данному закону распределения.

Интегральным законом распределения или функцией распределения называется функция вида

$$F(x) = P(X < x). \quad (1.4)$$

Функция распределения — универсальная характеристика случайной величины. Она существует как для прерывных, так и непрерывных величин и характеризует вероятность события $X < x$, где x — некоторая текущая переменная.

Функция распределения имеет следующие свойства:

функция распределения $F(x)$ есть неубывающая функция своего аргумента, т.е. при $x_2 > x_1$, $F(x_2) \geq F(x_1)$;

на минус бесконечности функция распределения равна нулю: $F(-\infty) = 0$;

на плюс бесконечности функция распределения равна единице: $F(\infty) = 1$.

Пусть имеется случайная величина X с функцией распределения $F(x)$, которую предполагаем непрерывной и дифференцируемой. Вычислим вероятность попадания этой случайной величины на участок от x до $x + \Delta x$. Условимся левый конец участка x включать в участок x , $x + \Delta x$, а правый не включать. Тогда попадание случайной величины X на участок x , $x + \Delta x$ равносильно выполнению неравенства $x \leq X < x + \Delta x$.

Выразим вероятность этого события через $F(x)$. Для этого рассмотрим три события:

событие A , состоящее в том, что $X < x + \Delta x$;

событие B , состоящее в том, что $X < x$;

событие C , состоящее в том, что $x \leq X < x + \Delta x$;

Учитывая, что $A = B + C$, по теореме сложения вероятностей получим

$$P(X < x + \Delta x) = P(X < x) + P(x \leq X < x + \Delta x)$$

или

$$F(x + \Delta x) = F(x) + P(x \leq X < x + \Delta x),$$

откуда

$$P(x \leq X < x + \Delta x) = F(x + \Delta x) - F(x),$$

т.е. получили приращение функции распределения на этом участке. Следовательно, вероятность попадания случайной величины на данный участок равна приращению функции распределения на этом участке.

Рассмотрим отношение этой вероятности к длине участка и будем приближать Δx к нулю. В пределе получим производную от функции распределения

$$\lim \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = F'(x) = f(x). \quad (1.5)$$

Функция $f(x)$ — производная функции распределения — характеризует как бы плотность, с которой распределяются значения случайной величины в данной точке. Эта функция называется плотностью распределения, или дифференциальным законом распределения величины X . Плотность распределения есть одна из форм закона распределения. В противоположность функции распределения она существует только для непрерывных случайных величин.

Каждый закон распределения представляет собой некоторую функцию, которая полностью описывает случайную величину с вероятностной точки зрения. Однако часто на практике нет необходимости характеризовать случайную величину полностью, достаточно бывает указать только отдельные числовые параметры. Такие параметры, характеризующие в сжатой форме существенные особенности распределения, называются числовыми характеристиками случайной величины. Основными числовыми характеристиками случайных величин, изучаемых в надежности, являются математическое ожидание, или среднее значение, и дисперсия.

Для прерывной случайной величины X математическим ожиданием (средним значением) называется сумма произведений всех возможных значений случайной величины на вероятности этих значений:

$$M_x = \sum_{i=1}^n x_i P_i. \quad (1.6)$$

Для непрерывной величины X математическое ожидание выражается уже не суммой, а интегралом:

$$M_x = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx, \quad (1.7)$$

где $f(x)$ — плотность распределения величины X .

Дисперсия случайной величины X есть характеристика рассеяния (разбросанности значений случайной величины около ее математического ожидания).

Соответственно для прерывных и непрерывных случайных величин имеем

$$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2 P_i; \quad (1.8)$$

$$D_x = \int_{-\infty}^{\infty} (x - M_x)^2 f(x) dx. \quad (1.9)$$

Величина, полученная извлечением квадратного корня из дисперсии, называется среднеквадратическим отклонением случайной величины X :

$$\sigma_x = \sqrt{D_x}. \quad (1.10)$$

На практике часто приходится определять числовые характеристики случайной величины по ограниченному объему статистических данных об отказах, которых недостаточно, чтобы судить о законе распределения случайной величины. В этом случае находят статистические характеристики (оценки):

статистическое математическое ожидание (среднее значение)

$$\bar{M}_x = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n \quad (1.11)$$

и статистическую дисперсию

$$D_x = \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{M}_x)^2 \right] / (n - 1). \quad (1.12)$$

Дисперсия математического ожидания

$$\bar{D}_m = \bar{D}_x / n, \quad (1.13)$$

дисперсия дисперсии

$$\bar{D}_D = 2 \bar{D}_x^2 / (n - 1). \quad (1.14)$$

Пример 1.5. Прибор состоит из четырех блоков. Вероятность выхода каждого блока из строя за время t равна 0,3. Построить функцию распределения числа отказов.

Решение. 1. Найдем ряд распределения случайной величины X — числа отказов, возможные значения которой:

$$x_1 = 0; \quad x_2 = 1; \quad x_3 = 2; \quad x_4 = 3; \quad x_5 = 4.$$

Вероятности этих значений будут: $P_1 = 0,7^4 = 0,2401$; $P_2 = (0,3 \times 0,7^3)4 = 0,4116$; $P_3 = (0,3^2 \cdot 0,7^2)6 = 0,2646$; $P_4 = (0,3^3 \cdot 0,7)4 = 0,0756$; $P_5 = 0,3^4 = 0,0081$.

Ряд распределения имеет вид

x	0	1	2	3	4
P	0,2401	0,4116	0,2646	0,0756	0,0081

2. Построим функцию распределения случайной величины X :

$$\begin{aligned} \text{при } x \leq 0 & \quad F(x) = 0; \\ \text{при } 0 < x \leq 1 & \quad F(x) = 0,2401; \\ \text{при } 1 < x \leq 2 & \quad F(x) = 0,6517; \\ \text{при } 2 < x \leq 3 & \quad F(x) = 0,9163; \\ \text{при } 3 < x \leq 4 & \quad F(x) = 0,9919; \\ \text{при } x > 4 & \quad F(x) = 1. \end{aligned}$$

График функции распределения приведен на рис. 1.1.

Пример 1.6. Функция распределения непрерывной случайной величины X задана выражением

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0; \\ bx^2 & \text{при } 0 < x < 1; \\ 1 & \text{при } x > 1. \end{cases}$$

Найти коэффициент b и плотность распределения $f(x)$.

Решение. 1. Так как функция распределения величины x непрерывна, то при $x = 1$, $b^2 = 1$, откуда $b = 1$.

2. Плотность распределения

$$f(x) = F'(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0; \\ 2 & \text{при } 0 < x < 1; \\ 0 & \text{при } x > 1. \end{cases}$$

Элементы теории массового обслуживания. Процесс возникновения отказов в работе РЭА, организация и проведение ее ремонта, снабжение запасными элементами и материалами и другие ситуации в теории и практике эксплуатации РЭА могут быть описаны методами теории массового обслуживания.

Системой массового обслуживания называется система, состоящая из определенного числа обслуживающих единиц, которые называются каналами обслуживания. Системы массового обслуживания могут быть одноканальными и многоканальными.

Основными элементами системы массового обслуживания являются: поток событий, число каналов и быстродействие каждого канала. Под потоком событий понимается последовательность событий, происходящих одно за другим в какие-то моменты времени.

Поток событий называется простейшим, если он обладает свойствами ординарности, стационарности и отсутствия последействия. Ординарность потока означает, что вероятность появления двух со-

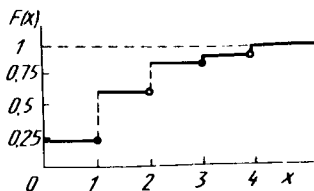


Рис. 1.1. Функция распределения числа отказов

бытий и более в один и тот же момент времени практически отсутствует. Стационарность потока означает, что вероятность попадания того или иного числа событий на участок времени длиной $t + \Delta t$ не зависит от t и зависит только от длины участка Δt . Отсутствие последействия заключается в том, что для двух отрезков времени Δt_1 и Δt_2 число событий, попадающих в один из них, не зависит от числа событий, попадающих в другой. В дальнейшем будем рассматривать только простейшие потоки.

Режим работы системы массового обслуживания зависит также от характеристик производительности самой системы: числа каналов и быстродействия каждого канала. Одной из важнейших величин, связанных с системой, является среднее время обслуживания одной заявки $\bar{T}_{об}$.

Наибольшее распространение в практике находит случай, когда величина $\bar{T}_{об}$ имеет экспоненциальное распределение:

$$f(t) = \nu_{об} e^{-\nu_{об}t},$$

где $\nu_{об} = 1/\bar{T}_{об}$ — величина, обратная среднему времени обслуживания одной заявки.

Системы массового обслуживания (СМО) делятся на два основных типа: системы с отказами и системы с ожиданием.

В системах с отказами заявка, поступившая в момент, когда все каналы обслуживания заняты, немедленно получает отказ, покидает систему и в дальнейшем процессе обслуживания не участвует. В системах с ожиданием заявка, заставшая все каналы занятыми, не покидает систему, а становится в очередь и ожидает, пока не освободится какой-нибудь канал.

Процессы эксплуатации бытовой РЭА (заявки на ремонт, снабжение ЗИПом и т.д.) могут быть наиболее полно описаны только с применением теории систем массового обслуживания с ожиданием. Поэтому в дальнейшем будем рассматривать только системы с ожиданием и случай, когда время ожидания в очереди ничем не ограничено.

Пусть в системе имеется n каналов. На вход системы поступает простейший поток заявок с плотностью λ . Среднее время обслуживания одной заявки $T_{об}$ — экспоненциальное с параметром $\nu_{об}$. Среднее число заявок $\alpha_3 = \lambda T_{об}$. Время ожидания не ограничено.

Состояния СМО нумеруются по числу заявок:

S_0	— СМО свободна;	}	очереди нет
S_1	— занят один канал;		
S_n — заняты все каналы;			
S_{n+1}	— заняты все n каналов, одна заявка стоит в очереди;		
S_{n+r}	— заняты все n каналов, r заявок стоит в очереди.		

Тогда для расчета вероятностей состояний системы при установившемся режиме обслуживания ($\alpha_3 < n$) можно воспользоваться формулой [12]

$$P_k = \frac{\alpha_3^k}{k!} / \left(\sum_{\kappa=0}^n \frac{\alpha_3^\kappa}{\kappa!} \right) + \frac{\alpha_3^{n+1}}{n! (n - \alpha_3)}, \quad (1.15)$$

где k — число состояний системы ($0 < k \leq n$).

Вероятность наличия очереди

$$P_{оч} = 1 - (P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_n). \quad (1.16)$$

Среднее число заявок, находящихся в очереди (средняя длина очереди),

$$m_{оч} = \frac{\alpha_3^{n+1}}{n n! (1 - \alpha_3/n)^2} / \left(\sum_{\kappa=0}^n \frac{\alpha_3^\kappa}{\kappa!} \right) + \frac{\alpha_3^{n+1}}{n! (n - \alpha_3)}. \quad (1.17)$$

Среднее время пребывания заявки в очереди

$$t_{оч} = m_{оч} / \lambda. \quad (1.18)$$

Пример 1.7. Имеется простейшая двухканальная СМО с неограниченной очередью. Интенсивность потока заявок $\lambda = 3$ заявки в час.

Среднее время обслуживания одной заявки $T_{об} = 0,5$ ч. Найти вероятности состояний системы P_0, P_1, P_2 , вероятность наличия очереди, среднюю длину очереди и среднее время пребывания заявки в очереди.

Решение. 1. Имеем $\alpha_3 = \lambda T_{об} = 3 \cdot 0,5 = 1,5$. При этом $n = 2$. Так как $\alpha_3 < n$, то режим установившийся.

2. По формуле (1.15) находим: $P_0 = 1/7 = 0,142$; $P_1 = 1,5/7 = 0,214$; $P_2 = 1,125/7 = 0,16$.

3. Вероятность наличия очереди $P_{оч} = 1 - (P_0 + P_1 + P_2) = 1 - (0,142 + 0,214 + 0,16) = 0,484$.

4. Средняя длина очереди, т.е. среднее число заявок, находящихся в очереди по формуле (1.17)

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

5. Среднее время пребывания заявки в очереди, ч,

$$t_{оч} = m_{оч} / \lambda = 1,92/3 = 0,64.$$

1.5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

1.5.1. По каналу связи передаются последовательно два сообщения, каждое из которых может быть передано правильно или искажено. Вероятность передачи сообщения без искажения $P_1 = 0,85$; вероятность

искажения $P_2 = 0,15$. Определить вероятность $P(A)$ того, что хотя бы одно сообщение будет передано правильно.

О т в е т. $P(A) = 0,873$.

1.5.2. Прибор состоит из четырех блоков. Выход из строя каждого блока означает выход из строя прибора в целом. За время t вероятность работы первого блока равна $P_1 = 0,95$, второго — $P_2 = 0,85$, третьего — $P_3 = 0,75$, четвертого — $P_4 = 0,8$. Блоки выходят из строя независимо друг от друга. Найти надежность P прибора в целом.

О т в е т. $P = 0,486$.

1.5.3. В шкафу стоят однотипные приборы, из которых шесть новых и четыре бывших в эксплуатации. Выбираются наугад два прибора и эксплуатируются в течение какого-то времени, после чего возвращаются в шкаф. Затем вторично выбираются наугад два прибора. Найти вероятность события A , что оба вторично выбранных прибора новые.

О т в е т. $P(A) = 0,207$.

1.5.4. Случайная величина X подчинена закону равнобедренного треугольника (закону Симпсона) на участке от $-a$ до a (рис. 1.2, а).

Требуется: а) написать выражение плотности распределения; б) построить график функции распределения; в) найти M_x, D_x случайной величины X .

Ответ: а) $f(x) = \begin{cases} 1/a(1 - x/a) & \text{при } 0 < x < a; \\ 1/a(1 + x/a) & \text{при } -a < x < 0; \\ 0 & \text{при } x < -a \text{ или } x > a; \end{cases}$

б) график функции распределения приведен на рис. 1.2, б;

в) $M_x = 0; D_x = a^2/6, \sigma_x = a / \sqrt{6}$.

1.5.5. На вход СМО подается простейший поток заявок с интенсивностью $\lambda = 5$ заявок в час. Среднее время обслуживания одной заявки $T_{об} = 0,4$ ч. Система СМО трехканальная ($n = 3$) с неограниченной очередью. Найти вероятность наличия очереди $P_{оч}$, среднюю длину очереди $m_{оч}$ и среднее время пребывания заявки в очереди $t_{оч}$.

О т в е т. $P_{оч} = 0,297; m_{оч} = 0,89$ заявки; $t_{оч} = 0,18$ ч.

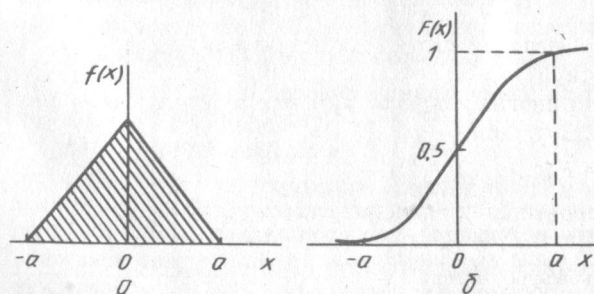


Рис. 1.2. Распределение Симпсона: а — плотность распределения; б — функция распределения

Глава 2. НАДЕЖНОСТЬ РЭА

2.1. БЕЗОТКАЗНОСТЬ

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 объекта не возникает. "Наработка" – термин, определяющий продолжительность работы объекта.

Возникновение отказа является случайным событием, 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. 2.1. 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 .

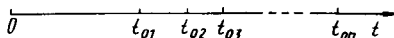
При значительном числе объектов статистическая вероятность \bar{P}_i сходится к вероятности $P(t)$.

Надежность объекта иногда удобнее характеризовать вероятностью отказа:

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

Таким образом, вероятность появления отказа $q(t)$ можно рассмат-

Рис. 2.1. Процесс возникновения отказов неремонтируемого объекта



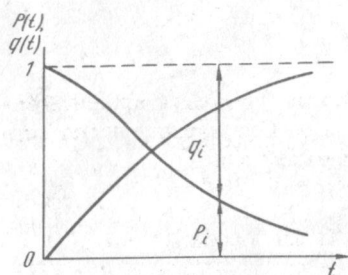


Рис. 2.2. Функциональные зависимости $P(t)$ и $q(t)$

ривать как вероятность того, что случайная величина t_0 примет значение меньше рассматриваемого времени t . Это позволяет рассматривать $q(t)$ как функцию распределения случайной величины t_0 — времени до появления отказа.

Функциональные зависимости $P(t)$ и $q(t)$ показаны на рис. 2.2.

Безотказность неремонтируемых объектов. Показателями безотказности неремонтируемых объектов (элементов) являются: вероятность безотказной работы $P(t)$, частота отказов $f(t)$, интенсивность отказов $\lambda(t)$ и средняя наработка до первого отказа $T_{\text{ср}}$.

Под частотой отказов элементов понимают число отказов в единицу времени, отнесенное к первоначальному числу поставленных на испытание элементов.

По статистическим данным, частота отказов, ч^{-1}

$$\bar{f}_i = \Delta n_i / (N \Delta t_i), \quad (2.4)$$

где Δn_i — число отказов в интервале времени Δt_i ; N — число испытываемых элементов; Δt_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

$$dP(t)/dt = -f(t), \quad (2.6)$$

или

$$f(t) = -dP(t)/dt = -P'(t).$$

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:

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

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, ч^{-1}

$$\lambda = \Delta n_i / (N_{\text{ср}} \Delta t_i), \quad (2.8)$$

где Δn_i — число отказов за промежуток времени Δt_i ; $N_{\text{ср}} = (N_i + N_{i+1})/2$ — среднее число работоспособных элементов; N_i — число элементов, работоспособных в начале рассматриваемого промежутка времени; N_{i+1} — число элементов, работоспособных в конце промежутка времени Δt_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 на $N \Delta t_i$, и, воспользовавшись соотношениями (2.2) и (2.4), получим

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

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

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = -P'(t)/P(t) = -dP(t)/dt P(t),$$

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. 2.3.

Пример 2.1. На испытание поставлено $N = 500$ 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 $\bar{\lambda}(2050)$.

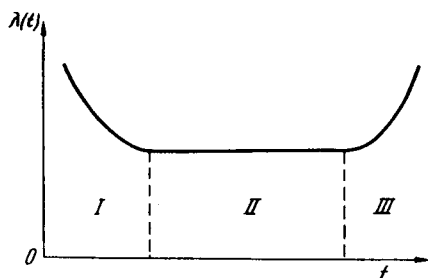


Рис. 2.3. Зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации: I — приработка; II — нормальная эксплуатация; III — старение

Решение. 1. $\bar{P}(2000) = \frac{N - n(2000)}{N} = \frac{500 - 200}{500} = 0,6;$
 $\bar{P}(2100) = \frac{500 - 300}{500} = 0,4.$

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

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

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

$\bar{\lambda}(2050) = \bar{f}_i / \bar{P}_i;$

$\bar{P}(2050) = \frac{500 - 250}{500} = 0,5.$

Тогда

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

Средней наработкой до первого отказа $T_{\text{ср}}$ 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:

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

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

$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = - \int_0^{\infty} t P'(t) dt. \quad (2.13)$

Интегрируя полученное выражение по частям, получим

$T_{\text{ср}} = - tP(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t) dt.$

Очевидно, что $tP(t) \Big|_0^{\infty} = 0$, так как при верхнем пределе $P(t)$ быстрее стремится к нулю, чем $t \rightarrow \infty$. Тогда

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

По данным испытаний, $T_{\text{ср}}$ однотипных элементов определяется как

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

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

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

$$\bar{T}_{\text{ср}} = \left(\sum_{i=1}^m \Delta n_i t_{\text{ср}i} \right) / N, \quad (2.16)$$

где Δn_i – количество отказавших элементов в интервале времени $\Delta t = t_{i+1} - t_i$; t_i – время в начале i -го интервала; t_{i+1} – время в конце i -го интервала, при этом $t_{\text{ср}i} = (t_i + t_{i+1})/2$ 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. На испытании находились $N = 1000$ неремонтируемых образцов РЭА. Число отказов Δn_i фиксировалось через каждые 100 ч работы ($\Delta t = 100$ ч). Ниже приведены данные об отказах.

$\Delta t_i, \text{ч}$	0–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600
Δn_i	50	40	32	25	20	16
						Продолжение
$\Delta t_i, \text{ч}$	600–700	700–800	800–900	900–1000		
Δn_i	15	14	15	14		

Требуется найти $\bar{P}(1000)$, $\bar{\lambda}(950)$ и $\bar{T}_{\text{ср}}$.

Решение. 1. $\bar{P}(1000) = \frac{1000 - 241}{1000} = 0,759$;

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

2. $\bar{T}_{\text{ср}} = \left(\sum_{i=1}^m \Delta n_i t_{\text{ср}i} \right) / N$; $m = 1000/100 = 10$.

Общее число отказавших элементов $N_0 = 241$, поэтому при расчете $\bar{T}_{\text{ср}}$ предположим, что на испытаниях находились только элементы, которые отказали. Тогда средняя наработка до первого отказа

$$\bar{T}_{\text{ср}} = \frac{50 \cdot 50 + 40 \cdot 150 + 32 \cdot 250 + 25 \cdot 350 + 20 \cdot 450 + 16 \cdot 550 + \dots + 14 \cdot 950}{241} = 371 \text{ ч.}$$

Пример 2.3. В результате наблюдения за $N = 45$ неремонтируемыми объектами РЭА получены данные до первого отказа всех 45 образцов, сведенные в табл. 2.1. Требуется определить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов, построить графики этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа $\bar{T}_{\text{ср}}$.

Таблица 2.1

Δt_i , ч	Δn_i	Δt_i , ч	Δn_i	Δt_i , ч	Δn_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. $\bar{P}(t) = (N - \Delta n_i)/N$; $\bar{\lambda}(t) = \Delta n_i/N_{\text{ср}} \Delta t_i$.

Расчитанные по этим формулам данные сведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Δt_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
$\bar{\lambda}(t) \times 10^{-3}$, ч ⁻¹	4,5	2,41	45,7	13,3	37,7	57,1	50	48
Δt_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
$\bar{\lambda}(t) \times 10^{-3}$, ч ⁻¹	0	19	0	0	70,8	109	240	1200

Графики $P(t)$ и $\lambda(t)$ приведены соответственно на рис. 2.4 и 2.5.

2. Средняя наработка до первого отказа

$$\bar{T}_{\text{ср}} = \left(\sum_{i=1}^m \Delta n_i t_{\text{ср} i} \right) / N =$$

$$= \frac{1 \cdot 2,5 + 5 \cdot 7,5 + 8 \cdot 12,5 + \dots + 1 \cdot 77,5}{45} = 31,7 \text{ ч.}$$

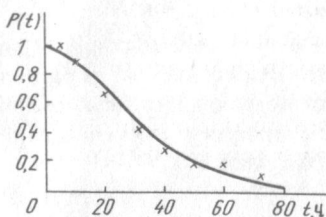


Рис. 2.4. Зависимость вероятности безотказной работы от времени

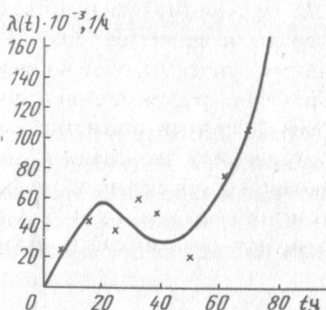


Рис. 2.5. Зависимость интенсивности отказов от времени

✓ **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. 2.6). 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 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). Условие замены отказавших элементов при испытаниях отражает реальный процесс эксплуатации, когда взамен отказавших элементов ставятся новые.

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.

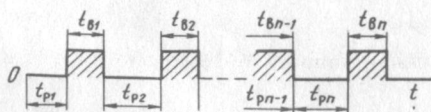


Рис. 2.6. Процесс эксплуатации ремонтируемого объекта

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_{Σ} и имела при этом n отказов в работе, то наработка на отказ

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

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

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

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

Пример 2.4. Проводилось наблюдение за работой трех экземпляров однотипной аппаратуры. За период наблюдения было зафиксировано по первому экземпляру аппаратуры 6 отказов, по второму и третьему — 10 и 7 соответственно. Нарботка первого экземпляра составила 4800 ч, второго — 6260 ч и третьего — 5500 ч. Определить наработку аппаратуры на отказ.

Решение. 1. Определяем суммарную наработку, ч, трех образцов аппаратуры:

$$t_{\Sigma} = 4800 + 6260 + 5500 = 16560.$$

2. Определяем суммарное количество отказов:

$$n_{\Sigma} = 6 + 10 + 7 = 23.$$

3. Находим среднюю наработку, ч, на отказ:

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

Пример 2.5. Приемник к началу наблюдения за отказами проработал 470 ч. К концу наблюдения наработка на отказ составила 18 500 ч. Зарегистрировано 15 отказов. Определить среднюю наработку на отказ.

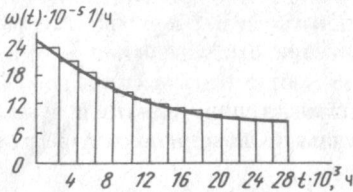
Решение. 1. Определяем суммарное время работы (в часах) приемника

$$t_{\Sigma} = 18500 - 470 = 18030.$$

$$2. \bar{T}_0 = t_{\Sigma}/n_{\Sigma} = 18030/15 = 1202.$$

Пример 2.6. В результате эксплуатации $N = 100$ ремонтируемых

Рис. 2.7. Гистограмма потока отказов



объектов получены приведенные ниже статистические данные об отказах.

Δn_i	46	40	36	32	30	28	26	24	24	22	22	20	20	20
$\Delta t \cdot 10^3, \text{ ч}$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Найти параметр потока отказов и среднюю наработку на отказ \bar{T}_0 .

Решение. 1. $\omega_1 = \Delta n_i / (N \Delta t) = 46/100 \cdot 2000 = 23 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$;
 $\omega_2 = 40/100 \cdot 2000 = 20 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$;

 $\omega_{14} = 2/100 \cdot 2000 = 10 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

Ниже приведены результаты расчетов $\omega_i \cdot 10^{-5}, \text{ ч}^{-1} = 23; 20; 18; 16; 15; 14; 13; 12; 12; 11; 11; 10; 10; 10$.

Гистограмма потока отказов и аппроксимирующая кривая $\omega(t)$ приведены на рис. 2.7.

2. Нарботку на отказ наиболее просто найти, используя следующее свойство функции $\omega(t)$:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = 1/T_0.$$

В нашем случае (см. рис. 2.7)

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \omega(t) = 10 \cdot 10^{-5},$$

тогда

$$T_0 = 1/10^{-4} \text{ ч}^{-1} = 10000 \text{ ч.}$$

2.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЗАКОНАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ

В силу того, что процесс возникновения отказов в РЭА носит случайный характер и зависит от многих факторов, следовательно, и время безотказной работы есть случайная величина и для описания ее распределения в теории надежности используется ряд законов: Вейбулла, экспоненциальный, Релея, нормальный, Пуассона и др.

Распределение Вейбулла. Согласно этому распределению, вероятность безотказной работы в интервале $0, t$.

$$P(t) = e^{-\lambda_0 t^b}, \quad t \geq 0; \quad \lambda_0 > 0, \quad b > 0, \quad (2.21)$$

отсюда

$$f(t) = -P'(t) = \lambda_0 b t^{b-1} e^{-\lambda_0 t^b}, \quad (2.22)$$

а среднее время безотказной работы

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_0 t^b} dt = \lambda_0^{-1/b} \Gamma(1 + 1/b), \quad (2.23)$$

где $\Gamma(1 + 1/b)$ – табулированная полная гамма-функция.

Этому закону достаточно хорошо подчиняется распределение отказов в объектах, содержащих большое количество однотипных неремонтируемых элементов (ЭВП, полупроводниковые приборы, микромодули и др.).

Из формул (2.21) и (2.22)

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = \lambda_0 b t^{b-1}. \quad (2.24)$$

Из рис. 2.8 и формулы (2.24) видно, что при $b < 1$ интенсивность отказов монотонно убывает, а при $b > 1$ – монотонно возрастает.

Пример 2.7. Время безотказной работы объекта подчиняется закону Вейбулла с параметрами $b = 1,5$; $\lambda_0 = 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, а время работы $t = 100 \text{ ч}$. Определить $P(t)$; $f(t)$; $\lambda(t)$ и $T_{\text{ср}}$.

Решение. 1. $P(100) = e^{-\lambda_0 t^b} = e^{-10^{-4} \cdot 100^{1,5}} = e^{-0,1} = 0,9$.

2. $f(100) = \lambda_0 b t^{b-1} e^{-\lambda_0 t^b} = 10^{-4} \cdot 1,5 \cdot 100^{0,5} \cdot 0,9 = 1,35 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

3. $\lambda(100) = 1,35 \cdot 10^{-3} / 0,9 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

4. $T_{\text{ср}} = \lambda_0^{-1/b} \Gamma(1 + 1/b) = \Gamma(1,67) / (10^{-4})^{1/1,5} = 0,9033 / 2,16 \cdot 10^{-3} = 418 \text{ ч}$.

Значения гамма-функции вычисляем с помощью табл. 9 приложения.

✓ **Экспоненциальное распределение.** Его можно рассматривать как частный случай распределения Вейбулла при $b = 1$. Тогда

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t};$$

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \quad (2.26)$$

$$\lambda(t) = f(t)/P(t) = \lambda = \text{const}; \quad (2.27)$$

$$T_0 = T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda. \quad (2.28)$$

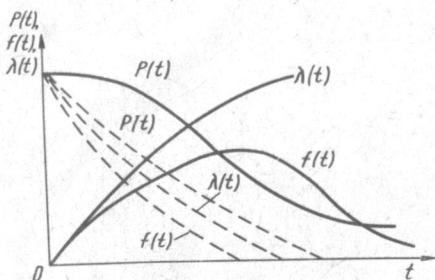


Рис. 2.8. Зависимости $P(t)$, $\lambda(t)$ и $f(t)$ при распределении времени безотказной работы по закону Вейбулла:

----- $b < 1$; ————— $b > 1$

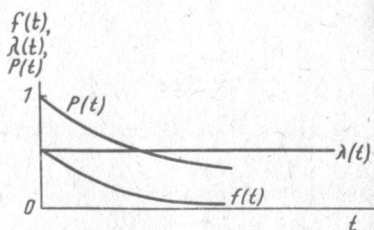


Рис. 2.9. Зависимость $P(t)$, $\lambda(t)$ и $f(t)$ при распределении времени безотказной работы по экспоненциальному закону

Подставив в формулу (2.24) $\lambda = 1/T_0$, получим

$$P(t) = e^{-t/T_0}. \quad (2.29)$$

При $t = T_0$ $P(T_0) = e^{-1} = 0,368$.

При экспоненциальном распределении математическое ожидание случайной величины равно среднеквадратическому отклонению, т.е.

$$T_{\text{ср}} = T_0 = \sigma_T.$$

Экспоненциальное распределение (рис. 2.9) типично для большинства сложных объектов РЭА, содержащих большое количество различных неремонтируемых элементов, имеющих преимущественно внезапные отказы. Экспоненциальное распределение применяется также к ремонтируемым объектам с простейшим потоком отказов.

Пример 2.8. Система состоит из двух устройств. Вероятности безотказной работы каждого из них в течение времени $t = 100$ ч: $P_1(100) = 0,95$; $P_2(100) = 0,97$. Необходимо найти среднюю наработку до первого отказа системы при экспоненциальном законе надежности.

Решение. 1. Вероятность безотказной работы системы

$$P_c = P_1(100) P_2(100) = 0,95 \cdot 0,97 = 0,92.$$

$$P_c(100) = e^{-\lambda_c t} = e^{-100 \lambda_c}, \text{ или } 0,92 = e^{-100 \lambda_c}.$$

2. По значениям функции e^{-x} из табл. 13 приложения:

$$100 \lambda_c = 0,083; \lambda_c = 0,083/100 \text{ ч} = 0,83 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

3. $T_{\text{ср}} = 1/\lambda_c = 1/0,83 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} = 1200 \text{ ч}.$

Пример 2.9. Время работы устройства до отказа подчинено экспоненциальному закону распределения с параметром $\lambda = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

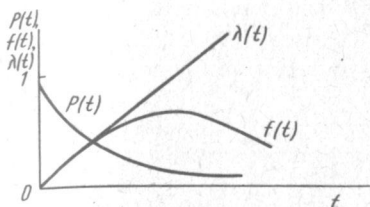


Рис. 2.10. Зависимость $P(t)$, $\lambda(t)$ и $f(t)$ при распределении времени безотказной работы по закону Релея

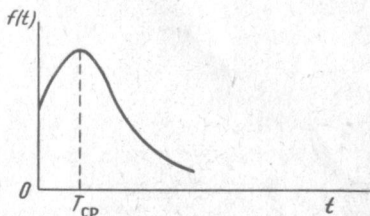


Рис. 2.11. Зависимость $f(t)$ для усеченного нормального распределения

Определить количественные характеристики надежности устройства $P(t)$, $f(t)$, $T_{\text{ср}}$, если $t = 2000$ ч.

Решение. 1. $P(2000) = e^{-2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2 \cdot 10^3} = 0,9512$.

2. $f(t) = \lambda(t) P(t) = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \cdot 0,9512 = 2,38 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

3. Средняя наработка до первого отказа

$$T_{\text{ср}} = 1/\lambda = 1/2,5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} = 4 \cdot 10^4 \text{ ч.}$$

Распределение Релея. Это распределение (рис. 2.10) достаточно полно описывает поведение ряда объектов и элементов РЭА с явно выраженным эффектом старения и износа.

Плотность вероятности момента отказа при этом распределении записывается в следующем виде:

$$f(t) = t/C^2 e^{-t^2/2C^2}; \quad (2.30)$$

$$P(t) = e^{-t^2/2C^2}; \quad (2.31)$$

$$\lambda(t) = t/C^2; \quad (2.32)$$

$$T_{\text{ср}} = C \sqrt{\pi/2}. \quad (2.33)$$

Здесь C — параметр распределения.

Пример 2.10. Время работы изделия до отказа подчиняется закону распределения Релея. Вычислить количественные характеристики надежности изделия $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ и $T_{\text{ср}}$ для $t = 500$ ч, если параметр распределения $C = 700$ ч.

Решение. 1. $P(500) = e^{-t^2/2C^2} = e^{-500^2/2 \cdot 700^2} = e^{-0,255} = 0,775$.

2. $f(500) = t/C^2 \exp(-t^2/2C^2) = 500/700^2 \exp(-500^2/2 \cdot 700^2) = 1,02 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-0,255} = 0,79 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

3. $\lambda(500) = t/C^2 = 500/700^2 = 1,02 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

4. $T_{\text{ср}} = C \sqrt{\pi/2} = 700 \sqrt{1,57} = 875 \text{ ч.}$

Нормальное распределение. Это распределение широко используется

в теории вероятностей, а также и в теории надежности. Этот закон распределения описывает надежность объектов, для которых типичен износ, причем все отказы однородны по качеству и имеют малый разброс износа.

Время ремонта объектов и суммарная наработка объекта до ремонта (среднего или капитального) в ряде случаев могут быть также описаны нормальным законом.

Плотность вероятности момента отказа в этом случае имеет следующий вид:

$$f(t) = [1/(\sigma_T \sqrt{2\pi})] \exp [-(t - T_{cp})^2 / 2\sigma_T^2] \quad (2.34)$$

Она зависит от двух параметров: среднего значения T_{cp} и дисперсии σ_T времени безотказной работы.

Непосредственно нормальный закон распределения для расчета показателей безотказности может применяться только в случае, если

$$T_{cp} \gg \sigma_T. \quad (2.35)$$

Это связано с тем, что нормальная плотность распределения (2.34) не является односторонней, т.е. она отлична от нуля и при $t < 0$. При $T_{cp} \gg \sigma_T$ этот недостаток практически не сказывается, так как в этом случае частью кривой распределения при $t < 0$ можно пренебречь. Однако если условие (2.35) не выполняется, то использование нормального распределения может привести к заметным погрешностям. Поэтому на практике используют усеченное нормальное распределение (рис. 2.11). Для этого отсекают часть кривой распределения при $t < 0$ и вводят нормирующий множитель C_H для того, чтобы сохранить условия нормирования плотности вероятности:

$$C_H / \sigma_T \sqrt{2\pi} \int_0^{\infty} \exp [-(t - T_{cp})^2 / 2\sigma_T^2] dt = 1. \quad (2.36)$$

Из формулы (2.36) находим

$$C_H = \Phi(T_{cp} / \sigma_T), \quad (2.37)$$

где $\Phi(t) = 2/\sqrt{\pi} \int_0^x e^{-t^2} dt$ — функция Лапласа.

Эта функция табулирована, что облегчает расчеты (см. табл. 10 приложения). Тогда при усеченном нормальном распределении ($t \geq 0$)

$$f(t) = \exp [-(t - T_{cp})^2 / 2\sigma_T^2] / [\sigma_T \sqrt{2\pi} \Phi(T_{cp} / \sigma_T)]; \quad (2.38)$$

$$P(t) = \Phi[(T_{cp} - t) / \sigma_T] / \Phi(T_{cp} / \sigma_T); \quad (2.39)$$

$$\lambda(t) = \exp [-(t - T_{cp})^2 / 2\sigma_T^2] / [\sigma_T \sqrt{2\pi} \Phi(T_{cp} - t) / \sigma_T]; \quad (2.40)$$

$$T_{cp,yc} = T_{cp} + [\sigma_T \exp(-T_{cp}^2 / 2\sigma_T^2)] / [\sqrt{2\pi} \Phi(T_{cp} / \sigma_T)]. \quad (2.41)$$

Зависимости показателей безотказности для нормального распределения времени безотказной работы приведены на рис. 2.12.

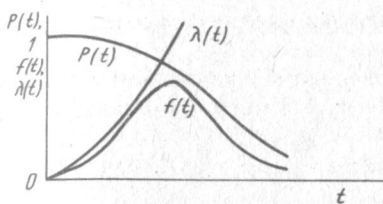


Рис. 2.12. Зависимость $P(t)$, $\lambda(t)$ и $f(t)$ для нормального распределения времени безотказной работы

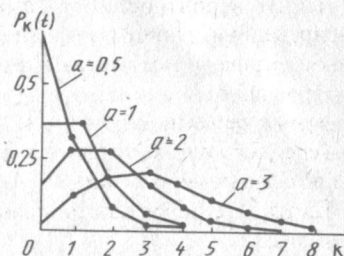


Рис. 2.13. Вид распределения Пуассона при различных α

Пример 2.11. Пусть время работы изделия до отказа подчинено усеченному нормальному закону с параметрами $T_{\text{ср}} = 6000$ ч и $\sigma_T = 2000$ ч. Требуется вычислить $P(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$, $T_{\text{ср.ус}}$ для $t = 5000$ ч и $t = 8000$ ч.

Решение. 1. $P(5000) = \Phi[(6000 - 5000)/2000] / \Phi(6000/2000) = \Phi(0,5) / \Phi(3)$.

Значения функций $\Phi(0,5)$ и $\Phi(3)$ найдем из табл. 10 приложения. Тогда $P(5000) = \Phi(0,5) / \Phi(3) = 0,69 / 0,999 = 0,63$.

$P(8000) = \Phi[(6000 - 8000)/2000] / \Phi(3) = \Phi(-1) / \Phi(3) = [1 - \Phi(1)] / \Phi(3) = (1 - 0,84) / (0,999) = 0,16$.

2. Вычисление $f(t)$ удобнее проводить, используя значения функции

$\varphi(x) = e^{-x^2/2} / \sqrt{2\pi}$, приведенные в табл. 12 приложения. В рассматриваемом случае $x = (t - T_{\text{ср}}) / \sigma_T$. Имея в виду, что $\Phi(3) \approx 1$, с использованием формулы (2.38) получим $f(t) = \varphi(t) / \sigma(t)$. Тогда

$$f(5000) = \varphi[(5000 - 6000)/2000] / 2000 = \varphi(-0,5) / 2000 = \varphi(0,5) / 2000 = 0,35 / 2000 = 1,75 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1},$$

$$f(8000) = \varphi(1) / 2000 = 0,242 / 2000 = 1,21 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

3. Рассчитаем интенсивность отказов $\lambda(t) = f(t) / P(t)$:

$$\lambda(5000) = 1,75 \cdot 10^{-4} / 0,63 = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda(8000) = 1,21 \cdot 10^{-4} / 0,16 = 7,56 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

4. Найдем среднюю наработку до первого отказа по формуле (2.41):

$$T_{\text{ср.ус}} = 6000 + [2000 \exp(-0,5(6000/2000)^2)] / [\sqrt{2\pi} F_0(3)] = 6000 + [2000 \exp(-4,5)] / [\sqrt{6,28} \cdot 1] = 6008,7 \text{ ч}.$$

Из результатов расчета видно, что в данном случае усеченный нормальный закон распределения близок к нормальному.

Распределение Пуассона. В теории надежности широко используется

распределение Пуассона, которым описывают поведение дискретных случайных величин.

Считают, что случайная величина t распределена по закону Пуассона, если вероятность того, что она примет определенное значение K выражается формулой

$$P_K(t) = (a^K / K!) e^{-a}, \quad (2.42)$$

где a – параметр закона Пуассона (математическое ожидание случайной величины t).

Потоки отказов, подчиняющиеся этому закону, называются пуассоновскими.

Дисперсия случайной величины t , распределенной по закону Пуассона, равна ее математическому ожиданию:

$$D_t = a. \quad (2.43)$$

Вид распределения Пуассона при различных значениях a показан на рис. 2.13. Интервалы времени между отказами в пуассоновском потоке отказов взаимозависимы и распределены по экспоненциальному закону. Среднее число отказов в интервале $(0, t)$ для пуассоновского потока

$$a = \lambda t. \quad (2.44)$$

Интенсивность пуассоновского потока отказов

$$\omega(t) = \lambda, \quad (2.45)$$

т.е. совпадает с параметром экспоненциального распределения.

Так как интервалы между отказами в простейшем потоке распределены экспоненциально, то такой поток должен управляться законом распределения вероятностей числа отказов $P_K(t)$ – законом Пуассона, а число отказов в нем подчиняться закону распределения вероятностей Пуассона (т.е. простейшим может быть только пуассоновский поток).

Распределение Пуассона применимо для оценки надежности ремонтируемых объектов с простейшим потоком отказов.

Пример 2.12. Среднее число отказов ремонтируемого устройства за время $t = 500$ ч равно 10. Какова вероятность того, что за время $\Delta t = 100$ ч работы возникнет 2; 3 отказа.

Решение. Так как отказы независимы друг от друга и равномерно распределены во времени, число отказов за время $\Delta t = 100$ ч распределяется по закону Пуассона. Математическое ожидание числа отказов за время $\Delta t = 100$ ч

$$\lambda t = (10/500) \cdot 100 = 2.$$

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

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

В заключение отметим, что поведение бытовой РЭА и многих других объектов РЭА на первом участке эксплуатации (см. рис. 2.3) хорошо описывается законом распределения Вейбулла с $b < 1$, на втором участке — экспоненциальным законом, а на третьем — распределением Релея или Вейбулла с $b > 1$.

2.3. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, СОХРАНЯЕМОСТЬ

Ремонтопригодность. 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 $\bar{T}_{т.р}$;

средняя продолжительность технического обслуживания $\bar{T}_{т.о}$.

В данной главе рассматривается только один показатель — $\bar{T}_{т.р}$, а другой показатель — $\bar{T}_{т.о}$ — будет подробно рассмотрен в гл. 6.

Средняя продолжительность текущего ремонта есть математическое ожидание времени восстановления работоспособности:

$$T_{т.р} = \int_0^{\infty} T_{pi} f(t_p) dt, \quad (2.46)$$

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

$$\bar{T}_{т.р} = \left(\sum_{i=1}^n T_{pi} \right) / n, \quad (2.47)$$

где n — количество отказов за время t .

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

Пример 2.13. 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 $m_i = n_i/n$.

$$m_1 = 6/20 = 0,3; \quad m_2 = 8/20 = 0,4; \quad m_3 = 4/20 = 0,2;$$

$$m_4 = 2/20 = 0,1.$$

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

$$+ 25 \cdot 0,1 = 15 \text{ мин.}$$

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

$$T_{сл} = \int_0^{\infty} t_{слi} f(t_{сл}) dt, \quad (2.48)$$

где $t_{слi}$ — срок службы i -го объекта; $f(t_{сл})$ — функция плотности распределения времени срока службы.

По статистическим данным

$$\bar{T}_{сл} = \left(\sum_{i=1}^N T_{слi} \right) / N, \quad (2.49)$$

где $T_{слi}$ — 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:

$$\bar{T}_{сл} = \left(\sum_{i=1}^N T_{слi} \right) / N. \quad (2.50)$$

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

Гамма-процентный срок службы определяется выражением

$$-q(T_{сл\ \gamma}) = P(T_{сл\ \gamma}) = \gamma \cdot 100, \quad (2.51)$$

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 $R_{ср}$ — математическое ожидание ресурса:

$$R_{ср} = \int_0^{\infty} r_i f(r) dr, \quad (2.52)$$

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

Назначенный ресурс R_n — суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его состояния.

Гамма-процентный ресурс R_γ — наработка, в течение которой объект не достигает предельного состояния с заданной вероятностью γ -процентов.

Для ремонтируемых объектов различают средний ресурс до среднего (капитального) ремонта $R_{ср}$ (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.

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 значительном 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:

$$T_c = \int_0^{\infty} t_{ci} f(t_c) dt, \quad (2.53)$$

где t_{ci} — сохраняемость i -го объекта; $f(t_c)$ — плотность распределения величины t_c .

По статистическим данным

$$\bar{T}_c = \left(\sum_{i=1}^N T_{ci} \right) / N, \quad (2.54)$$

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 γ -процентов. Аналогично выражение (2.51) можно записать

$$1 - q(T_{c\gamma}) = P(T_{c\gamma}) = \gamma \cdot 100, \quad (2.55)$$

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

Аналитические показатели сохраняемости можно рассчитать с использованием выражений (2.25) — (2.28), подставляя в них значения λ элементов для этапов хранения.

2.4. ГОТОВНОСТЬ

Готовность является важным понятием, применяемым не только к РЭА, но и к персоналу, обслуживающему ее. Готовность определяется следующими основными свойствами и факторами:

- надежностью;
- принятой системой технического обслуживания и контроля технического состояния;
- совершенством организационной структуры обслуживающих органов;
- организацией процесса обслуживания заявок и интенсивностью их поступления;
- квалификацией обслуживающего персонала;
- совершенствованием системы ремонта и организации обслуживания.

Свойства и факторы, определяющие уровень готовности РЭА, по своей природе являются случайными, так как они зависят от большого числа случайных характеристик и параметров (наличие возможных отказов, характера требуемого ремонта и регулировок, технического состояния аппаратуры к моменту проверки и т.д.). Поэтому и показатели готовности РЭА носят вероятностно-статистический характер.

Показатели готовности называют еще комплексными показателями надежности, так как они характеризуют одновременно несколько свойств, составляющих надежность. Показателями готовности являются: коэффициент готовности K_G , коэффициент оперативной готовности $K_{O.G}$, коэффициент технического использования $K_{T.и}$.

Коэффициент готовности K_G — вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается (плановое техническое обслуживание, плановый ремонт и т.п.).

Следовательно, коэффициент готовности K_G представляет собой отношение суммарного времени исправной работы к общему времени исправной работы и ремонта, взятых за определенный период эксплуатации.

Для большинства ремонтируемых объектов имеет место такой порядок обслуживания, когда после появления отказа предусматривается немедленное его устранение. Тогда

$$K_G = T_0 / (T_0 + T_{T.p}). \quad (2.56)$$

Из формулы (2.56) видно, что величина K_G может быть повышена как за счет увеличения наработки на отказ T_0 , так и за счет сокращения средней продолжительности текущего ремонта $T_{T.p}$. Таким образом, K_G характеризует одновременно два различных свойства объекта — его безотказность и ремонтпригодность.

Коэффициент оперативной готовности $K_{O.G}$ — это вероятность того, что объект, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособ-

ным в произвольный момент времени и начиная с этого момента будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Раньше рассматривалось, что вероятность нахождения РЭА в работоспособном состоянии в произвольный момент времени характеризуется коэффициентом готовности K_r , а вероятность того, что РЭА (объект) останется работоспособной в течение заданного времени t , — вероятностью безотказной работы $P(t)$. Тогда

$$K_{o.r} = K_r P(t). \quad (2.57)$$

Коэффициент технического использования $K_{т.и}$ есть отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к сумме математических ожиданий времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, времени простоев, обусловленных техническим обслуживанием, и времени ремонтов за тот же период эксплуатации. На основании статистических данных, полученных за рассматриваемый период эксплуатации,

$$K_{т.и} = T_{0\Sigma} / (T_{0\Sigma} + T_{p\Sigma} + T_{т0\Sigma}), \quad (2.58)$$

где $T_{0\Sigma}$ — суммарная наработка всех объектов; $T_{p\Sigma}$ — суммарное время простоев из-за плановых и внеплановых ремонтов всех объектов; $T_{т0\Sigma}$ — суммарное время простоев из-за планового и внепланового технического обслуживания всех объектов.

Пример 2.14. Приемник к началу наблюдения за отказами проработал 458 ч. К концу наблюдения наработка составила 2783 ч. Всего зарегистрировано 5 отказов. Среднее время ремонта составило 1,5 ч. Определить наработку на отказ T_0 и K_r .

Решение. $\bar{T}_0 = \frac{(2783 - 458)}{5} = \frac{2325}{5} = 465$ ч.

$K_r = T_0 / (\bar{T}_0 + \bar{T}_p) = 465 / (465 + 1,5) = 0,997$.

Пример 2.15. Имеется 5 комплектов однотипной аппаратуры, рабо-

Таблица 2.3

Номер комплекта	t_i , ч												Количество отказов, n_j	T_{pj} , ч
	t_1	T_{p1}	t_2	T_{p2}	t_3	T_{p3}	t_4	T_{p4}	t_5	T_{p5}	t_6	T_{p6}		
1	29	0,6	46	0,7	54	0,8	25	1,0	34	1,2	60	1,2	6	0,92
2	48	0,96	60	0,8	56	1,4	36	1,15	—	—	—	—	4	1,08
3	68	1,2	64	0,95	52	1,3	—	—	—	—	—	—	3	1,15
4	34	1,3	51	0,96	56	1,25	42	1,35	—	40	0,98	—	5	1,17
5	52	1,25	26	1,35	38	0,98	48	1,18	—	—	—	—	4	1,19

тающих в одинаковых условиях. Число отказов, промежутки времени исправной работы между соседними отказами и время ремонта по каждому комплекту приведены в табл. 2.3. Необходимо определить наработку на отказ и коэффициент готовности одного комплекта.

Решение. 1. Общее время исправной работы,

$$\bar{t}_{\Sigma} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^6 t_i = 1009.$$

2. Общее число отказов

$$n_{\Sigma} = \sum_{j=1}^5 n_j = 22.$$

3. Средняя продолжительность ремонта

$$\bar{T}_{\text{т.р}} = (\sum_{j=1}^5 T_{\text{р}j})/5 = 5,5/5 = 1,1 \text{ ч.}$$

4. Нарботка на отказ

$$\bar{T}_0 = 1009/22 = 45,9 \text{ ч.}$$

5. Коэффициент готовности

$$K_{\text{г}} = \bar{T}_0 / (\bar{T}_0 + \bar{T}_{\text{т.р}}) = 45,9/47 = 0,9766.$$

Пример 2.16. В результате испытаний 35 ремонтируемых объектов в течение $t = 1000$ ч было получено $\lambda = 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Закон распределения отказов экспоненциальный. Время ремонта является случайной величиной, принимающей значение $t_{\text{р}1} = 3$ ч с вероятностью $P_1 = 0,6$, значение $t_{\text{р}2} = 3,2$ ч с вероятностью $P_2 = 0,5$ и значение $t_{\text{р}3} = 3,5$ ч с вероятностью $P_3 = 0,4$. Найти $P(t)$, T_0 , $T_{\text{т.р}}$, $K_{\text{г}}$ и $K_{0\text{г}}$.

Решение.

$$1. P(t) = e^{-\lambda t} = \exp(-10^{-4} \cdot 1000) = e^{-0,1} = 0,9.$$

$$2. \bar{T}_{\text{т.р}} = \sum_{i=1}^3 t_{\text{р}i} P_i = 3 \cdot 0,6 + 3,2 \cdot 0,5 + 3,5 \cdot 0,4 = 4,8 \text{ ч.}$$

$$3. \bar{T}_0 = 1/\lambda = 1/10^{-4} = 10^4 \text{ ч.}$$

$$4. K_{\text{г}} = 10000/10004,8 = 0,9984.$$

$$5. K_{0\text{г}} = 0,9984 \cdot 0,9 = 0,9035.$$

Пример 2.17. Время безотказной работы прибора подчинено закону Релея с параметром $C = 1860$ ч. Требуется рассчитать вероятность безотказной работы прибора в течение времени $t = 1000$ ч, интенсивность отказов $\lambda(1000)$, среднюю наработку до отказа, коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности при $t = 1000$ ч и среднем времени ремонта $T_{\text{т.р}} = 80$ ч.

Решение. 1. $\lambda(1000) = t/C^2 = 1000/1860^2 = 0,29 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

2. $P(t) = e^{-t^2/2C^2} = e^{-1000^2/2 \cdot 1860^2} = e^{-0,143} = 0,87$.

3. $T_{\text{ср}} = C/\sqrt{\pi}/2 = 1860/\sqrt{1,57} = 2320 \text{ ч}$.

4. $K_{\Gamma} = 2320/(2320 + 80) = 0,966$.

5. $K_{\text{о.г}} = 0,966 \cdot 0,87 = 0,84$.

→ **Пример 2.18.** Приемник состоит из пяти блоков. Вероятность безотказной работы каждого блока в течение времени $t = 50 \text{ ч}$:

$P_1(50) = 0,98; P_2(50) = 0,99; P_3(50) = 0,998; P_4(50) = 0,975;$

$P_5(50) = 0,985$.

Справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется найти K_{Γ} и $K_{\text{о.г}}$ для $t = 50 \text{ ч}$ и $T_{\text{т.р}} = 5 \text{ ч}$.

Решение. 1. Найдем $q_{\text{пр}}(50) = \sum_{i=1}^5 (1 - P_i) = 0,02 + 0,01 + 0,002 + 0,025 + 0,015 = 0,072$.

2. $P_{\text{пр}}(50) = 1 - q_{\text{пр}}(50) = 1 - 0,072 = 0,928$.

3. $P_{\text{пр}}(50) = e^{-\lambda_{\text{пр}} \cdot 50}$. Или $0,928 = e^{-\lambda_{\text{пр}} \cdot 50}$.

По значениям e^{-x} , приведенным в табл. 13 приложения, находим, что $\lambda_{\text{пр}} \cdot 50 = 0,074$, тогда

$\lambda_{\text{пр}} = 0,074/50 \text{ ч} = 1,48 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

4. $T_0 = 1/\lambda_{\text{пр}} = 1/1,48 \cdot 10^{-3} = 675 \text{ ч}$.

5. $K_{\Gamma} = T_0/(T_0 + T_{\text{т.р}}) = 675/(675 + 5) = 0,9926$.

$K_{\text{о.г}} = K_{\Gamma} P(t) = 0,9926 \cdot 0,928 = 0,921$.

Пример 2.19. При эксплуатации объекта в течение года его суммарная наработка составила $T_{\text{о}\Sigma} = 7400 \text{ ч}$, суммарное время ремонтов $T_{\text{р}\Sigma} = 480 \text{ ч}$ и суммарное время технического обслуживания $T_{\text{т.о}\Sigma} = 880 \text{ ч}$. Определить коэффициент технического использования $K_{\text{т.и}}$.

Решение. $K_{\text{т.и}} = T_{\text{о}\Sigma}/(T_{\text{о}\Sigma} + T_{\text{р}\Sigma} + T_{\text{т.о}\Sigma}) = 7400/(7400 + 480 + 880) = 0,844$.

2.5. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

В процессе производства и эксплуатации на РЭА воздействуют различные факторы, влияющие на ее надежность. Все факторы условно можно разделить на две группы: субъективные и объективные.

Субъективные факторы в той или иной мере зависят от деятельности человека. К ним относятся все мероприятия, связанные с выбором схемного и конструктивного решений при проектировании, выбором элементов и материалов, обеспечением нормальных рабочих режимов, организацией технического обслуживания и эксплуатации аппаратуры.

К объективным факторам относятся различные неблагоприятные для работы аппаратуры влияния внешней среды, связанные с климатическими, метеорологическими, биологическими, механическими и другими воздействиями.

По характеру действия факторы можно разделить на конструктивно-производственные и эксплуатационные. Разделение по такому признаку удобно с точки зрения рационального распределения усилий в обеспечении надежности между разработчиками и потребителями аппаратуры.

К группе конструктивно-производственных относятся факторы, связанные с разработкой, проектированием и изготовлением аппаратуры. Их влияние на надежность аппаратуры является наиболее сильным и определяющим.

К эксплуатационным относятся факторы, влияющие на надежность аппаратуры в процессе ее практического использования. Они включают в себя объективные факторы, обусловленные влиянием внешней среды, и субъективные факторы, связанные с организацией системы технического обслуживания, ремонта, обеспечением ЗИПом, квалификацией обслуживающего персонала и другими вопросами.

В дальнейшем рассмотрим факторы объективного и субъективного характера, воздействующие на РЭА в процессе ее эксплуатации.

При разработке и изготовлении элементов обычно предусматриваются определенные, так называемые нормальные условия работы: температура $(25 \pm 10)^\circ \text{C}$, атмосферное давление 750 мм рт. ст., номинальный электрический режим, относительная влажность $60 \pm 20\%$, отсутствие механических нагрузок и т.д. Интенсивность отказов элементов в номинальном режиме эксплуатации называется номинальной интенсивностью отказов λ_{ni} .

Интенсивность отказов элементов при эксплуатации в реальных условиях λ_i равна номинальной интенсивности отказов λ_{ni} , умноженной на поправочный коэффициент, учитывающий влияние какого-либо фактора:

$$\lambda_i = \lambda_{ni} K_j. \quad (2.59)$$

Время эксплуатации и деятельность обслуживающего персонала. Время эксплуатации является одним из основных факторов, определяющих надежность аппаратуры на всех этапах.

Технологические и конструктивные недостатки чаще всего возникают в первый период эксплуатации, так как в этот период выяв-

ляются многие явные и скрытые дефекты аппаратуры в целом и ее элементов. Этот период для различной аппаратуры может колебаться от 1 до 10% длительности периода нормальной эксплуатации.

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

Причиной старения являются сложные физико-химические процессы, происходящие в элементах аппаратуры в течение всего времени ее эксплуатации. К ним относятся: структурные изменения в диэлектриках и проводниках, химические превращения в связывающих и пропиточных материалах, нарушение электрической и механической прочности материалов и элементов конструкции, нарушение герметизации и т.д. Скорость старения также определяется режимами работы и интенсивностью воздействия других факторов.

✓ Значительное влияние на надежность РЭА в процессе ее эксплуатации оказывают факторы субъективного характера, связанные с деятельностью обслуживающего персонала. Основными из них являются:

квалификация обслуживающего персонала;

соблюдение правил технической эксплуатации;

степень организованности системы технического обслуживания.

Одним из важных факторов является квалификация обслуживающего персонала. Она сказывается на качестве подготовки РЭА к работе и на процессе восстановления ее работоспособности после отказов.

Строгое соблюдение правил технической эксплуатации способствует содержанию РЭА в исправном состоянии, так как эти правила предусматривают именно такие действия обслуживающего персонала, которые обеспечивают качественную эксплуатацию РЭА.

Степень организованности системы технического обслуживания определяет лучшие методы и формы организации эксплуатации РЭА, при которых обеспечивается высокая безотказность и долговечность аппаратуры. Она предусматривает организацию ряда мероприятий (профилактика, ремонт, снабжение ЗИПом и т.д.), направленных на обеспечение эксплуатации с наиболее высоким значением коэффициента готовности.)

Следует отметить, что улучшению эксплуатации способствует надежная сборка и обработка данных эксплуатации РЭА. Полученные статистические данные и их анализ помогают лучше организовать систему технического обслуживания, обеспечение ЗИПом и прогнозировать возможные отказы. Эти результаты также полезны и при разработке новой аппаратуры, так как помогают заранее учесть особенности эксплуатации и недостатки предыдущих разработок.

Электрические режимы. Все элементы РЭА характеризуются допустимыми нагрузками по мощности рассеяния, токам, напряжениям и т.д. Следовательно, работа элементов при предельно допустимых нагрузках сокращает срок их службы и не гарантирует надежной работы. Уменьшение нагрузок до оптимальных увеличивает надежность работы.

О значении реальной нагрузки судят по статистическим данным эксплуатации и замерам режимов работы элементов. Для оценки режима работы используют коэффициент нагрузки по мощности и по напряжению.

Коэффициент нагрузки по мощности

$$K_p = P_p / P_n, \quad (2.60)$$

где P_p – рабочее значение мощности рассеяния; P_n – номинальное значение мощности рассеяния.

Коэффициент нагрузки по напряжению

$$K_u = U_p / U_n, \quad (2.61)$$

где U_p – рабочее значение напряжения; U_n – номинальное значение напряжения.

При проектировании обычно принимают коэффициент электрической нагрузки 0,4–0,6.

Температура, влажность, атмосферные осадки. Существенное влияние на температуру внутри аппаратуры и температуру отдельных элементов оказывает температура окружающей среды. Сезонные колебания температуры достигают 60–80°С, суточные 20–40°С.

Под воздействием солнечных лучей возможно повышение температуры до 40°С, что приводит к повышению температуры элемента и, как следствие, к повышению коэффициента нагрузки.

Немаловажным фактором является скорость и цикличность изменения температуры в аппаратуре. Неблагоприятное воздействие на надежность оказывают как отрицательные, так и положительные температуры. Особенно заметно возрастание интенсивности отказов при воздействии положительных температур. Так, например, при увеличении температуры с +20 до +85°С увеличивается интенсивность отказов германиевых транзисторов в три раза (с $0,2 \cdot 10^{-7}$ ч⁻¹ до $0,6 \cdot 10^{-7}$ ч⁻¹), а интегральных микросхем в два-три раза.

Повышенная температура способствует распаду органических материалов, перегреву и выходу из строя ЭВП (электровакuumных приборов), полупроводниковых приборов. Ухудшаются изоляционные свойства различного рода заливок, обмоток, механические свойства полимеров, что приводит к деформации деталей и выходу их из строя.

Периодические смены низких и высоких температур особенно быстро приводят к разрушению различного рода обмоток (трансформаторов, индуктивностей, дросселей).

При отрицательных температурах пластмассы теряют прочность,

резиновые изделия становятся хрупкими, металлы делаются ломкими. В образовавшиеся трещины изоляции попадает влага, снижая ее электрическую прочность. Легко разрушаются соединения пластмасс с металлами, сплавы металлов со стеклом, нарушается пайка, падает емкость электрических конденсаторов, уменьшается коэффициент усиления транзисторов.

Повышенная влажность является одним из факторов, наиболее отрицательно воздействующих на РЭА. Влажность характеризуется относительной влажностью, представляющей собой измеряемое в процентах отношение фактически содержащихся в воздухе водяных паров к максимально возможному их содержанию при данной температуре. Нормальной влажностью считается относительная влажность 60–65%. При влажности 80% воздух считается сырым. Для тропических районов характерна повышенная влажность (до 98%).

Воздействие влаги и атмосферных осадков на РЭА возможно посредством поглощения водяных паров из воздуха, конденсации водяных паров на поверхности аппаратуры, смачивания брызгами (дождя, снега), погружения в воду.

Повышенная влажность приводит к ухудшению электрических характеристик диэлектриков: падают удельные объемное и поверхностное сопротивление, уменьшается электрическая прочность. При повышенной влажности разрушается структура резисторов, увеличивается их сопротивление и резко снижается их стойкость, кроме того, увеличиваются потери в контурных катушках.

Для защиты РЭА от влаги применяют различные способы. Наиболее эффективным является разработка герметичной аппаратуры с резиновыми уплотнителями. В ряде случаев применяют влагозащиту изоляционными материалами (покрытие деталей лаком, заливку эпоксидной смолой и т.д.). Широко применяется пропитка, особенно при изготовлении моточных изделий. В ряде случаев применяют опрессовку — покрытие слоем изоляционного материала, образующегося из пластмасс в специальных формах.

Выбор того или другого метода обеспечения влагозащиты определяют исходя из конкретных условий эксплуатации РЭА. При этом необходимо отметить, что любой метод не устраняет в полной мере влияния влажности на надежность РЭА. При воздействии влаги окисляются контакты, уменьшается сопротивление между выводами.

В герметизированные конденсаторы влага не проникает, но резко снижает поверхностное сопротивление изоляции и приводит к разрушению выводов.

Влияние влажности ускоряет разрушение лакокрасочных защитных покрытий, нарушает герметизацию и целостность заливки.

Повышенная влажность приводит к коррозии металлических деталей, ухудшает изоляционные свойства материалов и элементов, снижает чувствительность приемных устройств, ухудшает стабильность частоты

Влажность, %	Температура, °С	Поправочный коэффициент K_B
60–70	20–40	1
90–98	20–25	2
90–98	30–40	2,5

гетеродинов, снижает КПД передатчиков, увеличивает потери в линиях передачи данных (волноводах и др.), приводит к общему нарушению режимов работы аппаратуры.

Атмосферные осадки способствуют возрастанию влажности со всеми рассмотренными последствиями. В результате повышенная влажность заметно снижает надежность РЭА:

$$\lambda_B = \lambda_{н.в} K_B, \quad (2.62)$$

где $\lambda_{н.в}$ – интенсивность отказов при нормальной влажности.

Значения поправочного коэффициента K_B приведены в табл. 2.4.

Необходимо отметить, что неблагоприятное сочетание таких факторов, как повышенная температура и повышенная влажность в результате распада органических материалов, ухудшения изоляционных свойств обмоток, заливок, деформации деталей, уменьшения электрической прочности, может привести к возгоранию элементов и узлов телевизоров, особенно в высоковольтных цепях.

Пониженное давление, чистота воздуха. Воздействие пониженного давления в основном распространяется на аппаратуру, используемую в самолетах, вертолетах, космических аппаратах, ракетах, а также в горной местности на высоте свыше 1000 м.

Значение атмосферного давления зависит от высоты подъема, температуры и широты места.

Пониженное давление оказывает влияние на изоляционные свойства воздуха, приводит к изменению емкости воздушных конденсаторов и характеристик других элементов, в которых воздух используется в качестве изолятора. При пониженном давлении легко возникает тлеющий разряд между проводниками, находящимися под высоким напряжением. При изменении высоты с 1000 до 1600 м значение пробивного напряжения воздуха уменьшается в четыре раза. Понижение давления ухудшает отвод тепла от элементов РЭА, что может привести к их перегреву, особенно на больших высотах, так как уже на высоте 6 км теплоемкость воздуха падает в два раза по сравнению с его теплоемкостью у земли. Это вызывает необходимость принятия мер для охлаждения аппаратуры.

Пониженное давление приводит к некоторому увеличению интенсивности отказов:

Высота, км	Давление, мм рт. ст.	Поправочный коэффициент K_d	Высота, км	Давление, мм рт. ст.	Поправочный коэффициент K_d
0,1	700	1	10	195	1,3
1	670	1,05	20	30	1,35
3	520	1,14	30	8,5	1,4
5	405	1,16			

$$\lambda_d = \lambda_{н.д} K_d, \quad (2.63)$$

где $\lambda_{н.д}$ — интенсивность отказов при нормальном давлении.

Зависимость атмосферного давления от высоты и значения коэффициента K_d приведены в табл. 2.5.

На надежность РЭА заметное влияние оказывает загрязненность воздуха механическими и химическими примесями. Находящаяся в воздухе пыль представляет собой мельчайшие частицы горных пород, дыма промышленных предприятий, остатки растительных и животных организмов. В воздухе в зависимости от степени его загрязнения может содержаться до 60 мг/м³ пыли.

Находящаяся в воздухе пыль легко проникает в негерметизированные РЭА, снижая поверхностное сопротивление, ускоряя износ движущихся частей, контактов, изменяя в ряде случаев параметры элементов. Особенно сильно пыль ухудшает характеристики аппаратуры, выполненной на печатном монтаже, не защищенном специальным покрытием, так как она образует токопроводящие перемычки между проводниками. Для предохранения печатных плат от воздействия пыли и влаги их покрывают прочной изоляционной пленкой. Увлажнение пыли усиливает ее воздействие на электрические параметры РЭА.

Кроме пыли в атмосфере могут быть сильнодействующие химические примеси, выбрасываемые промышленными предприятиями и автомобилями. Они увеличивают коррозию металлов, ускоряют процесс старения в пластмассах и органических диэлектриках.

Особенно сильно влияют на надежность РЭА соли и соленые туманы на море и морском побережье. Для уменьшения влияния этих факторов необходимо применять герметизацию элементов и аппаратуры в целом, специальные влаго- и солестойкие покрытия.

Механические нагрузки. Основными механическими нагрузками являются удары и вибрации. Последствиями удара являются затухающие колебания и большие ускорения, которые передаются элементам РЭА. Вибрации возникают в результате механического движения.

Заводы-изготовители РЭА проводят лабораторные испытания

на механическую устойчивость. Однако в процессе эксплуатации могут возникнуть условия, при которых удары и вибрации могут повышать нормы лабораторных испытаний как по длительности воздействия, так и по значению.

Удары и вибрации приводят к нарушению целостности паек, контактов, повреждению ЭВП, обрывам монтажных проводов, выводов конденсаторов и резисторов, ослаблению металлических соединений, к нарушению регулировок.

Механическое воздействие принято оценивать по значению создаваемого ускорения и измерять в единицах ускорения свободного падения. Ударные ускорения рассчитываются по формуле

$$g_y = v^2 / 2 \cdot 9,81 l_y, \quad (2.64)$$

где g_y – ускорение в относительных единицах (по отношению к ускорению свободного падения); v – мгновенная скорость в момент удара, м/с; l_y – перемещение при ударе или суммарное значение упругих и остаточных деформаций ударяющихся предметов, м.

Так, например, при падении блока аппаратуры без упаковки с высоты 50 см и при остаточной деформации $l_y = 1$ мм относительное ускорение достигает 250. Для уменьшения влияния ударов применяют амортизаторы.

Вибрации представляют собой сложные механические колебания, которым подвергается РЭА при непосредственном контакте с источником колебаний. Характеристиками вибраций являются их продолжительность, диапазон частот и значение относительного ускорения (по отношению к ускорению свободного падения).

Относительное ускорение при вибрациях можно определить по известной частоте колебаний и амплитуде перемещения:

$$g_B = 4\pi^2 f^2 l_B / 9,81, \quad (2.65)$$

где f – частота колебаний, Гц; l_B – амплитуда перемещений, м.

Характеристики по вибрациям и перегрузкам различных видов перевозок приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6

Вид перевозок	Вибрации, Гц	Перегрузки g	Значения частот, соответствующих максимуму перегрузок, Гц
Морские	0–30	1	10–30
Железнодорожные	1,5–400	2	2–8; 30–400
Автомобильные	0–200	4–5	2–3; 20–150
Авиационные	5–500	20	150–300
Аппарат в ракете	30–2000	10–70	–

Таблица 2.7

Вид аппаратуры	Группа аппаратуры	Вид испытания	Напряжение питания	Параметры нагрузки	
				Наименование и размерность	Значение
Стационарная, переносная, носимая, транспортная (в упаковке)	I-IV	На прочность при транспортировании	Выключено	Ускорение, m/s^2 (g)	147 (15)
				Длительность ударного импульса, м/с	11
Носимая, транспортная (без упаковки)	III, IV	На виброустойчивость	Номинальное	Число ударов	1000
				Частота ударов в 1 мин	60-120
				Ускорение, m/s^2 (g)	20 (2)
				Диапазон частот, Гц	10-55
				Продолжительность испытаний, мин	5-10

Практика показывает, что наиболее опасными являются вибрации с частотами 10–150 Гц и 175–500 Гц.

Вследствие вибрации и ударов параметр потока отказов одной и той же аппаратуры, установленной в самолетах и ракетах, будет выше в 10–100 раз. Поэтому для аппаратуры, установленной на самолетах, ракетах и космических аппаратах, применяются специальные меры повышения надежности.

Для защиты РЭА от вибраций применяют различные амортизаторы, которые по типу упругих элементов относятся к цельнометаллическим, резинометаллическим и резиновым. В цельнометаллических амортизаторах упругими элементами являются пружины. В резинометаллических и резиновых амортизаторах роль упругого элемента выполняет резина.

Механические повреждения аппаратуры может вызвать и обслуживающий персонал при недостаточной квалификации и небрежном обращении с ней.

Требования на прочность при транспортировании, виброустойчивость и режимы, в которых проводятся испытания бытовой РЭА по оценке влияния указанных факторов, приведены в табл. 2.7.

2.6. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

2.6.1. На испытание было поставлено $N = 1200$ изделий. За время $t = 3000$ ч вышло из строя $n = 600$ изделий. За последующий интервал времени $\Delta t_i = 200$ ч вышло из строя $\Delta n_i = 100$ изделий. Необходимо вычислить $\bar{P}(3000)$, $\bar{P}(3100)$, $\bar{f}(3050)$, $\bar{\lambda}(3050)$.

О т в е т. $\bar{P}(3000) = 0,5$; $\bar{P}(3100) = 0,416$; $\bar{f}(3050) = 4,16 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$; $\bar{\lambda}(3050) = 9 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$.

2.6.2. На испытании находилось $N = 1200$ однотипных транзисторов. Число отказавших транзисторов учитывалось через каждые 500 ч работы, данные об отказах приведены в табл. 2.8. Требуется определить вероятность безотказной работы, интенсивность отказов в функции времени, построить графики этих функций, а также найти среднюю наработку до первого отказа.

Т а б л и ц а 2.8

$\Delta t_i, \text{ч}$	Δn_i	$\Delta t_i, \text{ч}$	Δn_i	$\Delta t_i, \text{ч}$	Δn_i
0–500	35	3000–3500	85	6000–6500	60
500–1000	50	3500–4000	80	6500–7000	60
1000–1500	60	4000–4500	70	7000–7500	75
1500–2000	65	4500–5000	85	7500–8000	85
2000–2500	70	5000–5500	75	8000–8500	65
2500–3000	60	5500–6000	65	8500–9000	55

О т в е т. $\bar{T}_{\text{ср}} = 4668,75$ ч.

2.6.3. Прибор состоит из четырех блоков, отказ любого из которых ведет к отказу прибора. Первый блок отказал 15 раз в течение 18 000 ч работы, второй — 16 раз в течение 21 000 ч работы, третий — 6 раз и четвертый — 12 раз в течение 15 000 ч работы. Определить наработку на отказ прибора, если справедлив экспоненциальный закон надежности для каждого из блоков.

О т в е т. $\bar{T}_0 = 357$ ч.

2.6.4. Время безотказной работы прибора подчинено закону Вейбулла с параметрами $b = 2$; $\lambda_0 = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Необходимо найти вероятность безотказной работы прибора в течение $t = 400$ ч и $\bar{T}_{\text{ср}}$.

О т в е т. $P(400) = 0,787$; $T_{\text{ср}} = 726,23$ ч.

2.6.5. Система состоит из трех устройств. Для первого устройства $\lambda_1 = 0,16 \cdot 10^{-3} = \text{const}$. Для второго устройства $\lambda_2 = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, для третьего $\lambda_3 = 0,6 \cdot 10^{-7} t^2 \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность безотказной работы системы в течение $t = 100$ ч.

О т в е т. $P_c(100) = 0,862$.

2.6.6. Время исправной работы устройства подчинено закону Релея. Вероятность безотказной работы его в течение $t = 2000$ ч $P(2000) = 0,85$. Определить $\lambda(t)$ и $T_{\text{ср}}$.

О т в е т. $\lambda(2000) = 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$; $T_{\text{ср}} = 5625$ ч.

2.6.7. Время безотказной работы изделия подчинено усеченному нормальному закону с параметрами $T_{\text{ср}} = 5000$ ч и $\sigma_T = 1000$ ч. Найти вероятность безотказной работы и интенсивность отказов в течение $t = 6000$ ч.

О т в е т. $P(6000) = 0,159$; $\lambda(6000) = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

2.6.8. Приемный пункт по ремонту бытовой РЭА получает в среднем за час 18 заявок на ремонт аппаратуры. Какова вероятность того, что за $\Delta t = 5$ мин он получит 3 заявки.

О т в е т. $P_{\text{к}} = 3 = 0,107$.

2.6.9. Время безотказной работы сложной ремонтируемой системы подчиняется экспоненциальному закону, интенсивность отказов $\lambda_c = 0,1 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$. Среднее время ремонта $T_{\text{т.р}} = 10$ ч. Определить коэффициент готовности системы.

О т в е т. $K_T = 0,99$.

2.6.10. В результате анализа данных об отказах объекта, состоящего из четырех устройств, установлено, что вероятность безотказной работы каждого устройства в течение времени $t = 100$ ч равна: $P_1(100) = 0,96$; $P_2(100) = 0,97$; $P_3(100) = 0,985$; $P_4(100) = 0,995$. Требуется найти K_T , $K_{0,T}$ объекта для $t = 20$ ч и $T_{\text{т.р}} = 10$ ч при экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы.

О т в е т. $K_T = 0,99$; $K_{0,T} = 0,972$.

2.6.11. Система состоит из пяти приборов, наработка на отказ и среднее время ремонта которых соответственно равны: $T_{01} = 500$ ч; $T_{\text{т.р}1} = 3$ ч; $T_{02} = 800$ ч, $T_{\text{т.р}2} = 4$ ч; $T_{03} = 300$ ч; $T_{\text{т.р}3} = 5$ ч; $T_{04} = 600$ ч;

$T_{т.р4} = 4$ ч; $T_{05} = 700$ ч; $T_{т.р5} = 4$ ч. Для приборов справедлив экспоненциальный закон надежности. Определить K_T и $K_{0,T}$ системы для $t = 10$ ч.

О т в е т. $K_T = 0,963$; $K_{0,T} = 0,874$.

Глава 3. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЭА

3.1. ОБЩИЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Надежность РЭА зависит от многих факторов. Основные из них рассмотрены в предыдущей главе. Они подразделяются на конструктивно-производственные и эксплуатационные.

Высокая надежность объекта на стадии проектирования обеспечивается:

- выбором схемных и конструктивных решений;
- заменой аналоговой обработки цифровой;
- выбором элементов и материалов,
- заменой механических переключателей и управляющих устройств электронными;
- выбором режимов работы различных элементов и устройств;
- разработкой мер по удобству технического обслуживания и эксплуатации;
- учетом возможностей оператора (потребителя) и требований эргономики.

При выборе принципиальных схем предпочтение отдается схемам с наименьшим числом элементов, схемам, имеющим минимальное число органов регулировок, устойчиво работающим в широком интервале дестабилизирующих факторов. Однако удовлетворение всех этих условий невозможно, и конструктору приходится искать компромиссное решение.

Главное в проектируемой аппаратуре — использовать элементы, надежность которых соответствует требованиям к надежности самой аппаратуры.

Поскольку требования к надежности аппаратуры постоянно растут, все более высокие требования предъявляются к надежности комплектов элементов.

Конструктивные решения также влияют на надежность РЭА. Крупноблочная конструкция технологически сложна и неудобна при ремонте. Конструктивные решения должны обеспечить и необходимые тепловые режимы элементов РЭА, безотказность в условиях повышенной влажности и в условиях воздействия ударных и вибрационных нагрузок.

На повышении надежности заметно сказывается правильный выбор режимов работы элементов. Ранее указывалось, что оптимальные электрические нагрузки элементов не должны превышать 40–60% от номинальных.

Правильный выбор конструкционных материалов для РЭА также способствует повышению ее надежности. Применяемые материалы должны иметь такую скорость старения, которая обеспечивала бы нормальную эксплуатацию в течение всего срока службы.

Конструктивные решения должны обеспечивать удобство технического обслуживания и эксплуатации аппаратуры. В аппаратуре должны быть предусмотрены контрольные гнезда, легкий доступ ко всем блокам аппаратуры, удобство контроля ее состояния и настройки, смены блоков, меры, обеспечивающие безопасность обслуживающего персонала, и т.д.

Эргономика требует учета психофизиологических возможностей операторов и создания для них оптимальных условий. Органы управления и контроля должны располагаться так, чтобы не утомлять оператора, не вызывать излишних напряжений, не требовать больших физических усилий.

В процессе проектирования перед конструктором стоит задача повышения надежности РЭА в целом без повышения надежности комплектующих элементов. Эти методы будут описаны ниже.

Не менее важным является обеспечение заданной надежности в процессе производства и ремонта, которая достигается следующими мероприятиями:

- выбором соответствующей технологии и строгим ее соблюдением;
- внедрением автоматизации;
- входным контролем материалов и элементов;
- предварительной тренировкой элементов и аппаратуры;
- правильной методикой настройки аппаратуры;
- текущими и выходными контролями.

Правильная технология и строгое ее соблюдение с одновременной автоматизацией производства позволяют свести к минимуму влияние субъективных факторов на качество продукции.

Входной контроль не допускает в производство недоброкачественные материалы и элементы, имеющие отклонения от заданных требований.

Предварительная тренировка элементов и всей аппаратуры сокращает этап приработки аппаратуры, позволяет оценить правильность выбранных схемных решений. Элементы при тренировках ставят в более тяжелые условия.

В процессе настройки аппаратуры необходимо стремиться к тому, чтобы все элементы настройки и регулировки были установлены в положения, при которых изменения параметров не приводили бы к нарушению работоспособности.

Характер регулировок в процессе настройки аппаратуры на заводе должен тщательно продумываться с учетом схемных решений и предшествующего опыта.

Текущий контроль позволяет выявить некондиционные элементы

и узлы и не допустить их на дальнейшую сборку, выявить отступление от принятой технологии.

Выходной контроль является окончательной проверкой РЭА после сборки и настройки.

Правильная эксплуатация также существенно влияет на надежность РЭА. Здесь сказываются два фактора:

влияние внешней среды и условий эксплуатации;

организация эксплуатации и квалификация обслуживающего персонала.

Улучшение организации эксплуатации предусматривает планирование профилактических работ, обеспечение необходимой диагностической и контрольно-измерительной аппаратурой, автоматизацию контроля состояния РЭА, правильное планирование необходимых запасных элементов, узлов и т.д.

Повышение квалификации обслуживающего персонала предусматривает углубленное изучение конкретной РЭА, особенностей ее эксплуатации, знание диагностической и контрольно-измерительной аппаратуры и технологии ремонта. Это помогает сокращать время на отыскание и устранение неисправностей.

3.2. ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НА ОСНОВЕ ВНЕДРЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Важным фактором повышения надежности современной РЭА является широкое применение в ней микроэлектронных изделий, позволяющих значительно расширить ее функциональные возможности, уменьшить массу, габариты, потребляемую мощность и стоимость.

Для микроэлектроники характерен рост степени интеграции интегральных микросхем (ИС), которая сейчас составляет $5 \cdot 10^4$ элементов на кристалл.

В настоящее время определились два направления конструирования микроэлектронной аппаратуры:

на основе корпусированных ИС, двух- и многослойных печатных коммутационных плат;

на основе бескорпусных ИС и плат с пленочными соединениями и пассивными элементами.

В зависимости от технологии изготовления интегральные микросхемы делят на полупроводниковые, пленочные и гибридные.

По функциональному назначению ИС подразделяют на цифровые, аналоговые и СВЧ.

Полупроводниковые ИС обычно представляют кристалл кремния, на поверхности которого сформированы все элементы и межэлементные соединения. Пленочные ИС представляют совокупность расположенных на диэлектрической подложке пленочных пассивных элементов (резисторы, конденсаторы и др.) и соединений с навесными некорпусированными полупроводниковыми ИС и другими навесными

элементами. При изготовлении гибридных ИС находит применение как тонкопленочная, так и толстопленочная технология. Благодаря простоте изготовления и невысокой стоимости толстопленочные гибридные ИС широко используются в бытовой РЭА.

Полупроводниковые ИС являются более надежными и дешевыми из всех интегральных структур.

Основными преимуществами гибридных ИС по сравнению с полупроводниковыми являются:

возможность получения пленочных пассивных элементов широкой номенклатуры с жесткими допусками;

сравнительно высокий процент выхода годных ИС благодаря возможности отбраковки компонентов перед сборкой;

возможность замены навесных компонентов в процессе эксплуатации, что повышает ремонтпригодность РЭА.

Опыт эксплуатации и систематизация данных по отказам полупроводниковых ИС показал, что их надежность определяется четырьмя компонентами ненадежности [11]:

внешними соединениями, включая выводы корпусов ИС и соединения их с контактами печатной или пленочной платы;

внутренними контактными соединениями, обеспечивающими соединения легированных областей полупроводника с металлизацией;

корпусами ИС;

площадью кристаллов.

Тогда при экспоненциальном законе надежности интенсивность отказов ИС можно представить как

$$\lambda_{ис} = \lambda_{в.с} + \lambda_{к.с} + \lambda_{к} + \lambda_{п}, \quad (3.1)$$

где $\lambda_{в.с}$ – интенсивность отказов внешних соединений; $\lambda_{к.с}$ – интенсивность отказов внутренних контактных соединений; $\lambda_{к}$ – интенсивность отказов корпусов; $\lambda_{п}$ – интенсивность отказа кристалла, определяемая его площадью.

Ниже приведено количественное распределение отказов по компонентам ненадежности для биполярных ИС [11].

Виды отказов	Распределение отказов
Отказы внешних соединений	0,33
Отказы контактных соединений, микротрещины в проводящих пленках	0,26
Отказы вследствие нарушения герметичности корпусов	0,16
Отказы, зависящие от площади активной поверхности подложки ИС	0,25

Надежность современных ИС средней степени интеграции достаточно высока и оценивается в настоящее время интенсивностью отказов $\lambda_{ис} = 10^{-8} \text{ ч}^{-1}$, а в ближайшее время сможет составить $10^{-9} - 10^{-11} \text{ ч}^{-1}$.

Пример 3.1. Рассчитать надежность РЭА сложностью $N_3 = 10^6$ дискретных элементов, при условии, что:

РЭА построена на обычных активных и пассивных элементах с использованием бескорпусных транзисторов и сверхминиатюрных деталей со средним объемом элемента $0,1-0,2 \text{ см}^3$, средней массой около $0,1-0,2 \text{ г}$ и $\lambda_3 = 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$;

РЭА построена на ИС при степени интеграции $I_{ИС} = 10^4$ элементов на кристалл и с $\lambda_{ИС} = 10^{-8} \text{ ч}^{-1}$.

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

2. Мощность рассеяния РЭА сложностью 10^6 элементов при средней мощности рассеяния элемента 5 мВт будет равна 5 кВт .

3. Интенсивность отказов при экспоненциальном законе надежности

$$\lambda_1 = \sum_{i=1}^{N_3} \lambda_{3i} + \sum_{j=1}^{N_c} \lambda_{cj}$$

где N_3 — число элементов РЭА; λ_{3i} — интенсивность отказов i -го элемента; N_c — число контактных соединений в РЭА; λ_{cj} — интенсивность отказов j -го соединения, равная 10^{-7} ч^{-1} .

Полагая все элементы и соединения равнонадежными и $N_c = 2N_3$, получим

$$\lambda_1 = N_3 \lambda_3 + 2N_3 \lambda_c = 10^6 \cdot 10^{-6} + 2 \cdot 10^6 \cdot 10^{-7} = 1,2 \text{ ч}^{-1}.$$

4. Нарботка на отказ

$$T_{01} = 1/\lambda_1 = 1/1,2 \text{ ч}^{-1} = 0,83 \text{ ч} \approx 50 \text{ мин},$$

что означает практическую неработоспособность такой аппаратуры.

5. Общее число ИС

$$N_{ИС} = N_3 / I_{ИС} = 10^6 / 10^4 = 10^2.$$

6. Полагая все ИС равнонадежными, получим

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

7. Средняя наработка на отказ

$$T_{02} = 1/\lambda_2 = 1/10^{-6} \text{ ч}^{-1} = 10^6 \text{ ч}.$$

Ориентировочные расчеты показывают, что средняя наработка на отказ при применении ИС по сравнению с первым вариантом выросла в 10^6 раз. Это наглядно свидетельствует о том, что применение ИС открывает большие дополнительные возможности повышения надежности РЭА. При этом необходимо учитывать, что использование ИС позволяет резко уменьшить габариты, массу, потребляемую мощность (в $10-100$ раз и более), стоимость, повысить быстродействие и внедрять автоматизацию их производства.

3.3. РЕЗЕРВИРОВАНИЕ

Резервирование является способом повышения надежности путем включения резерва, предусмотренного при проектировании аппаратуры или в процессе ее эксплуатации. Это один из эффективных способов повышения надежности, позволяющий создавать аппаратуру, надежность которой может быть выше надежности входящих в нее элементов.

Однако практическая реализация резервирования связана с усложнением аппаратуры, увеличением ее массы, габарита, потребляемой мощности и стоимости. В бытовой РЭА метод пока не нашел применения.

Присоединение резервных элементов к основным выполняется параллельно.

Различают три метода резервирования:

общее, предусматривающее резервирование объекта в целом (рис. 3.1, а);

раздельное, предусматривающее резервирование отдельных элементов, их групп или отдельных узлов (рис. 3.1, б);

смешанное, предусматривающее совмещение различных методов резервирования.

Отношение числа резервных элементов к числу резервируемых называется кратностью резервирования.

Различают однократное (дублирование) и многократное резервирование. Кроме того, резервирование может быть с ремонтом любого основного и резервного элемента в процессе эксплуатации, так называемое резервирование с восстановлением, и без ремонта элементов, узлов, так называемое резервирование без восстановления. Сам резервный элемент может быть ремонтируемым и неремонтируемым.

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

$$P_m(t) = 1 - [1 - P_1(t)]^{m+1}. \quad (3.2)$$

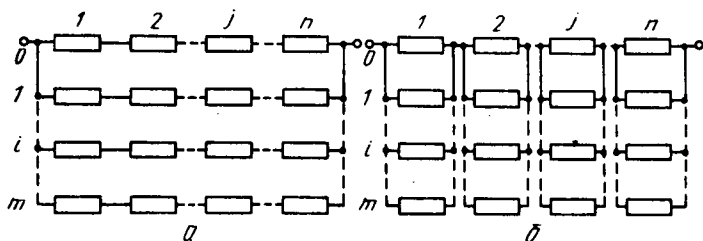


Рис. 3.1. Схема резервирования:

а – общее; б – раздельное

$P_1(t)$	$P_m(t)$ при		
	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$
0,5	0,75	0,875	0,9375
0,7	0,91	0,973	0,9919
0,9	0,99	0,999	0,9999
0,95	0,9975	0,999	0,99999
0,99	0,9999	0,999999	0,9999999

Видно, что параллельное включение элементов является эффективным средством повышения надежности объекта.

Значения $P_1(t)$ одного элемента и $P_m(t)$ для элементов с различной надежностью приведены в табл. 3.1.

Существует три способа включения резерва: постоянное, замещением и скользящее.

Постоянным резервированием называют такое, при котором резервные элементы участвуют в функционировании объекта наравне с основными. Естественно, что резервные элементы находятся в таком же режиме, что и основные, и их ресурс работы расходуется с момента включения в работу всего объекта. Так как резервные элементы функционируют наравне с основными, т.е. несут нагрузку, то такой резерв называют нагруженным.

Количественную оценку вероятности безотказной работы при таком резервировании найдем для двух методов резервирования: общего и отдельного. Из приведенных рисунков видно, что отдельное резервирование более эффективно. Для одинакового количества основных и резервных элементов с одинаковой надежностью можно видеть, что для отказа системы (см. рис. 3.1, а) достаточно, чтобы в каждой цепи отказал хотя бы один элемент. Для отказа системы (см. рис. 3.1, б) необходимо, чтобы вслед за отказом какого-либо рабочего элемента отказали все резервирующие его элементы.

Система с общим резервированием будет нормально функционировать при сохранении работоспособности хотя бы одной из цепей. На основании теоремы умножения вероятностей вероятность отказа такой системы

$$q_{об} = \prod_{i=1}^{m+1} q_i, \quad (3.3)$$

где q_i — вероятность отказа одной цепи, состоящей из n элементов.

Вероятность безотказной работы объекта с общим резервированием

$$P_{об}(t) = 1 - q_{об} = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - P_i), \quad (3.4)$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -й цепи.

✓ Но безотказная работа i -й цепи будет иметь место при безотказной работе каждого из n элементов. Поэтому

$$P_i = \prod_{j=1}^n P_{ji}, \quad (3.5)$$

где P_{ji} – вероятность безотказной работы j -го элемента в i -й цепи; n – число последовательно соединенных элементов цепи.

Подставляя значения P_i из выражения (3.5) в формулу (3.4), найдем

$$P_{об}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - \prod_{j=1}^n P_{ji}) = 1 - [1 - \prod_{j=1}^n P_{ji}]^{m+1}. \quad (3.6)$$

Для объекта с раздельным резервированием вероятность безотказной работы j -й ветви

$$P_{pj} = 1 - q_{pj} = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} q_{ij} = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - P_{ij}), \quad (3.7)$$

где P_{ij} – вероятность безотказной работы i -го элемента.

Тогда общая вероятность безотказной работы объекта с раздельным резервированием на основании теоремы умножения вероятностей

$$\begin{aligned} P_p(t) &= \prod_{j=1}^n [1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - P_{ij})] = \prod_{j=1}^n [1 - (1 - P_{ij})^{m+1}] = \\ &= [1 - (1 - P_{ij})^{m+1}]^n. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Для случая, когда все элементы одинаковы по надежности,

$$P_{об}(t) = 1 - (1 - P_1^n)^{m+1}, \quad (3.9)$$

где P_1 – вероятность безотказной работы элемента.

Для раздельного резервирования

$$P_p(t) = [1 - (1 - P_1)^{m+1}]^n. \quad (3.10)$$

Недостаток постоянного резервирования состоит в значительном увеличении объема аппаратуры, а также в том, что с появлением отказов в резерве изменяются параметры объекта, что может привести к изменению режимов работы.

При экспоненциальном законе надежности, когда $P_1 = e^{-\lambda_1 t}$, и при одинаковой надежности элементов для общего резервирования

$$P_{об}(t) = 1 - [1 - e^{-n\lambda_1 t}]^{m+1} =$$

$$= 1 - [1 - e^{-\lambda_0 t}]^{m+1}; \quad (3.11)$$

$$T_{об} = \int_0^{\infty} P_{об}(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}] dt =$$

$$= \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1} = T_{ср0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{i+1} = T_{ср0} A_m = A_m / \lambda_0, \quad (3.12)$$

где $\lambda_0 = n\lambda_1$ — интенсивность отказов цепи; $T_{ср0}$ — среднее время безотказной работы нерезервированной цепи; $A_m = 1 + 1/2 + 1/3 + \dots + 1/(m+1)$.

Ниже приведены значения A_m для различных m .

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

Для раздельного резервирования и экспоненциального закона надежности

$$P_p(t) = [1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]^n; \quad (3.13)$$

$$T_p = \frac{(n-1)!}{\lambda (m+1)} \sum_{i=0}^m \frac{1}{\nu_i (\nu_i + 1) \dots (\nu_i + n - 1)}, \quad (3.14)$$

где $\nu_i = (i+1)/(m+1)$.

При $m=1$ (дублирование) и $n > 5$

$$T_p = \frac{1}{\lambda n} [0,5 + 0,89 \sqrt{n}]. \quad (3.15)$$

Резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента, называют резервирование замещением. При этом обязательно наличие коммутирующих устройств для подключения резервных элементов взамен отказавших.

Резервные элементы могут находиться в различных режимах: нагруженном, облегченном и ненагруженном. Включение резервных элементов может осуществляться вручную или автоматически.

Если объект РЭА содержит несколько групп однотипных основных элементов, то для резервирования замещением нет необходимости иметь такое же число резервных элементов. Для резервирования достаточно иметь один или несколько резервных элементов.

Резервирование замещением, при котором группа основных элементов объекта резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой отказавший основной элемент в данной группе, называют скользящим резервированием. Скользящее резервирование применяется при наличии в аппаратуре одинаковых элементов (узлов, блоков).

Таблица для резервирования элементов цепи

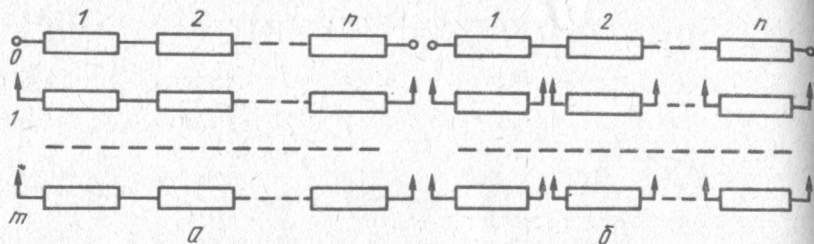


Рис. 3.2. Схема резервирования замещением:
a – общее; *б* – раздельное

Схемы резервирования с замещением приведены на рис. 3.2. Схема скользящего резервирования показана на рис. 3.3.

Для случая общего резервирования с замещением вероятность безотказной работы и среднее время работы до отказа при экспоненциальном законе надежности и нагруженном состоянии резерва определяются формулами (3.11) и (3.12).

При недогруженном состоянии резерва

$$P_{\text{об.з}}(t) = e^{-\lambda_0 t} \left[1 + \sum_{i=1}^m (a_i/i!) (1 - e^{-\lambda_H t})^i \right]; \quad (3.16)$$

$$T_{\text{об.з}} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{i=0}^m \frac{1}{1 + ik}, \quad (3.17)$$

где $a_i = \prod_{j=0}^{i-1} (j + \lambda_0/\lambda_H)$; $k = \lambda_H/\lambda_0$; λ_H – интенсивность отказов резервного устройства до замещения.

При ненагруженном состоянии резерва

$$P_{\text{об.з}}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^m \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!}; \quad (3.18)$$

$$T_{\text{об.з}} = (m + 1) T_{\text{ср.о}}, \quad (3.19)$$

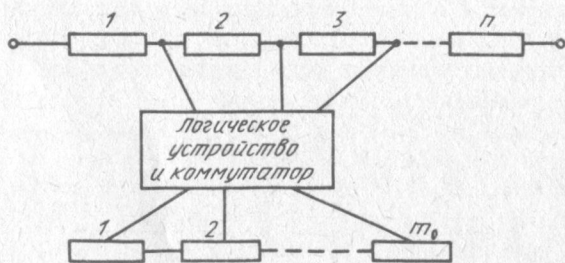


Рис. 3.3. Схема скользящего резервирования

где λ_0 и $T_{ср0}$ – интенсивность отказов и средняя наработка до 1-го отказа основного (нерезервированного) устройства.

Для случая отдельного резервирования замещением при нагруженном состоянии резерва $P_{з.р}^{(t)}$ и $T_{з.р}$ рассчитываются по формулам (3.13)–(3.15).

Для случая скользящего резервирования (ненагруженный резерв) при экспоненциальном законе надежности

$$P_{ск}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^{m_0} (\lambda_0 t)^i / i!, \quad (3.20)$$

где $\lambda_0 = n\lambda_j$ – интенсивность отказов нерезервированной системы; λ_j – интенсивность отказов нерезервированного элемента; m_0 – число резервных элементов.

$$T_{ск} = T_{ср0} (m_0 + 1), \quad (3.21)$$

где $T_{ср0}$ – среднее время безотказной работы нерезервированной системы.

Пример 3.2. Схема расчета надежности приведена на рис. 3.4, а. Интенсивность отказов элементов $\lambda_1 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$; $\lambda_2 = 0,1 \times 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность безотказной работы в течение времени $t = 100 \text{ ч}$ и $T_{ср}$ при общем резервировании.

Решение. 1. $P_{об}(100) = 1 - [1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}]^{m+1} = 1 - [1 - e^{-5,1 \cdot 10^{-4} \cdot 100}]^2 = 1 - [1 - 0,95]^2 = 0,9975$.

$$2. T_{об} = A_m / (\lambda_1 + \lambda_2) = 1,5 / 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} = 2941 \text{ ч}.$$

Пусть теперь $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,5 \cdot 10^{-3}$, тогда

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

Пример 3.3. Схема расчета надежности приведена на рис. 3.4, б. Интенсивность отказов $\lambda = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность безотказной работы в течение $t = 100 \text{ ч}$ и среднюю наработку до первого отказа $T_{ср}$ при отдельном резервировании.

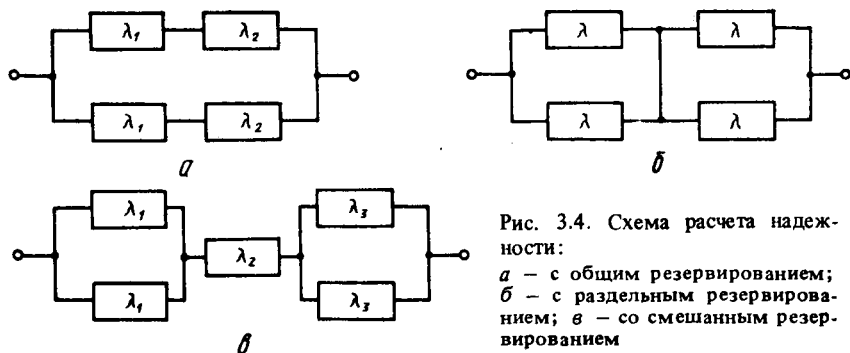


Рис. 3.4. Схема расчета надежности:

а – с общим резервированием;
б – с отдельным резервированием;
в – со смешанным резервированием

Решение. 1. $P_p(t) = [1 - (1 - e^{-\lambda t})^{m+1}]^n =$
 $= [1 - (1 - e^{-0,7 \cdot 10^{-3} \cdot 100})^2]^2 = [1 - (1 - 0,93)^2]^2 = 0,991.$

$$2. T_p = (n-1)! / [\lambda(m+1)] \sum_{i=0}^m \frac{1}{\nu_i(\nu_i+1) \dots (\nu_i+n-1)} =$$

$$= 1/2 \lambda \sum_{i=0}^1 \frac{1}{\nu_i(\nu_i+1)} = 1/2 \lambda \left[\frac{1}{\nu_0(\nu_0+1)} + \frac{1}{\nu_1(\nu_1+1)} \right].$$

Так как $\nu_i = (i+1)/(m+1) = (i+1)/2$, то $\nu_0 = 1/2$, а $\nu_1 = 1$.

Тогда $T_p = 1/2 \lambda \left(\frac{1}{1/2 \cdot 3/2} + \frac{1}{2} \right) = 1^{1/2} \lambda =$

$$= 1^{1/2} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1} = 1309 \text{ ч.}$$

По формуле (3.15)

$$T_p = 1/\lambda n [0,5 + 0,89 \sqrt{n}] = 1/2 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} [0,5 + 0,89 \sqrt{2}] =$$

$$= 1250 \text{ ч.}$$

Пусть теперь $m = 1$, $n = 5$, $\lambda = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

Тогда $T_p = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4}{2 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{1}{1/2 \cdot 3/2 \cdot 5/2 \cdot 7/2 \cdot 9/2} + \right.$
 $\left. + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5} \right) = 721,4 \text{ ч.}$

$$T_p = 1/5 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} [0,5 + 0,89 \sqrt{5}] = 714,3 \text{ ч.}$$

3. При $m = 1$, $n = 6$, $\lambda = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

$$T_p = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5}{6 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{1}{1/2 \cdot 3/2 \cdot 5/2 \cdot 7/2 \cdot 9/2 \cdot 11/2} + \right.$$

 $\left. + \frac{1}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6} \right) = 628,5 \text{ ч.}$

$$T_p = 1/6 \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} [0,5 + 0,89 \sqrt{6}] = 630 \text{ ч.}$$

Из приведенных расчетов видно, что при $n \geq 5$ значения T_p , определенные по формулам (3.14) и (3.15), практически совпадают.

Пример 3.4. Схема расчета надежности устройства приведена на рис. 3.4, в. Интенсивности отказов элементов имеют следующие значения: $\lambda_1 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_3 = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Закон надежности считаем экспоненциальным. Найти среднюю наработку до первого отказа устройства $T_{\text{ср.у}}$.

Решение. 1. Готовой формулы для $T_{\text{ср.у}}$ в рассматриваемом случае нет, поэтому необходимо воспользоваться соотношением

$$T_{\text{ср.у}} = \int_0^{\infty} P_y(t) dt.$$

Из схемы расчета надежности следует, что

$$P_y(t) = P_I(t) P_{II}(t) P_{III}(t).$$

В свою очередь

$$P_I(t) = 1 - [1 - P_1(t)]^2 = 2P_1(t) - P_1^2(t);$$

$$P_{II}(t) = P_2(t); P_{III}(t) = 1 - [1 - P_3(t)]^2 = 2P_3(t) - P_3^2(t).$$

Подставляя эти значения в выражение для $P_y(t)$, получим

$$P_y(t) = [2P_1(t) - P_1^2(t)] P_2(t) [2P_3(t) - P_3^2(t)] = 4P_1(t)P_2(t)P_3(t) - 2P_1^2(t)P_2(t)P_3(t) - 2P_1(t)P_2(t)P_3^2(t) + P_1^2(t) + P_2(t)P_3^2(t).$$

2. Так как $P_i(t) = \exp(-\lambda_i t)$, то можем записать

$$\begin{aligned} P_y(t) &= 4 \exp - (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)t - 2 \exp - (2\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)t - \\ &- 2 \exp - (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\lambda_3)t + \exp - (2\lambda_1 + \lambda_2 + 2\lambda_3)t = \\ &= 4e^{-1,33 \cdot 10^{-3}t} - 2e^{-1,83 \cdot 10^{-3}t} - 2e^{-2,13 \cdot 10^{-3}t} + e^{-2,63 \cdot 10^{-3}t} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. T_{ср.у} &= \int_0^{\infty} P_c(t) dt = 4/(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) - 2/(2\lambda_1 + \\ &+ \lambda_2 + \lambda_3) - 2/(\lambda_1 + \lambda_2 + 2\lambda_3) + 1/(\lambda_1 + \lambda_2 + 2\lambda_3). \end{aligned}$$

Подставляя значения λ_i из условия задачи в выражение для $T_{ср.у}$, получим

$$\begin{aligned} T_{ср.у} &= 4/(0,5 + 0,03 + 0,8) 10^{-3} - 2/(1,0 + 0,03 + 0,8) 10^{-3} - \\ &- 2/(0,5 + 0,03 + 1,6) 10^{-3} + 1/(1,0 + 0,03 + 1,6) 10^{-3} ч^{-1} = \\ &= (3007,5 - 1092,9 - 938,9 + 384) ч = 1359,7 ч. \end{aligned}$$

Пример 3.5. Вероятность безотказной работы УРЧ в течение 1000 ч равна 0,95. Для повышения надежности приемника имеется второй такой же УРЧ, который включается в работу при отказе первого при ненагруженном резерве. Рассчитать вероятность безотказной работы и $T_{об.з}$ приемника при двух УРЧ.

Решение. 1. На основании формулы (3.18) при $m = 1$ получим

$$P_{об.з}(t) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^1 (\lambda_0 t)^i / i! = e^{-\lambda_0 t} (1 + \lambda_0 t).$$

Из условия задачи $e^{-\lambda_0 t} = 0,95$, тогда из табл. 13 приложения $\lambda_0 t = 0,05$, следовательно, $P_{об.з}(t) = 0,95 (1 + 0,05) = 0,9975$.

2. В соответствии с выражением (3.19) получим

$$T_{об.з} = (m + 1) T_{ср.о} = 2 T_{ср.о},$$

так как $\lambda_0 = 0,05/t = 0,05/1000 ч = 0,5 \cdot 10^{-4} ч^{-1}$, то

$$T_{ср.о} = 1/\lambda_0 = 1/(0,5 \cdot 10^{-4}) ч^{-1} = 20000 ч, \text{ тогда}$$

$$T_{об.з} = 2 T_{ср.о} = 2 \cdot 20000 \text{ ч} = 40000 \text{ ч.}$$

Пример 3.6. Радиопередатчик имеет интенсивность отказов $\lambda_0 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Его дублирует такой же передатчик в недогруженном состоянии. В этом режиме у него $\lambda_1 = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Требуется вычислить вероятность безотказной работы передающей системы в течение $t = 200 \text{ ч}$, а также среднюю наработку до первого отказа.

Решение. 1. В соответствии с формулой (3.16) при $m = 1$

$$P_{об.з}(t) = e^{-\lambda_0 t} \left[1 + \sum_{i=1}^1 a_i / i! (1 - e^{-\lambda_1 t})^i \right] =$$

$$= e^{-\lambda_0 t} [1 + a_1 (1 - e^{-\lambda_1 t})],$$

$$1-1$$

где $a_1 \triangleq \prod_{j=0}^{1-1} (j + \lambda_0 / \lambda_1) = \lambda_0 / \lambda_1$, т.е.

$$P_{об.з}(t) = e^{-\lambda_0 t} [1 + (\lambda_0 / \lambda_1) - (\lambda_0 / \lambda_1) e^{-\lambda_1 t}].$$

Подставляя в эту формулу числовое значение из условия задачи, получим

$$\begin{aligned} P_{об.з}(200) &= e^{-0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 200} [1 + (0,2 \cdot 10^{-3} / 0,2 \cdot 10^{-4}) - \\ &- (0,2 \cdot 10^{-3} / 0,2 \cdot 10^{-4}) e^{-0,2 \cdot 10^{-4} \cdot 200}] = \\ &= e^{-0,04} (1 + 10 - 10 e^{-0,004}) = 0,998. \end{aligned}$$

На основании формулы (3.17)

$$T_{об.з} = 1 / \lambda_0 \sum_{i=0}^1 1 / (1 + i\kappa) = 1 / \lambda_0 [(1 + 1) / (1 + \kappa)].$$

Так как $\kappa = \lambda_1 / \lambda_0$, то окончательно

$$\begin{aligned} T_{об.з} &= 1 / \lambda_0 [1 + 1 / (1 + \lambda_1 / \lambda_0)] = 1 / \lambda_0 [1 + \lambda_0 / (\lambda_0 + \lambda_1)] = \\ &= 1 / 0,2 \cdot 10^{-3} [1 + 0,2 \cdot 10^{-3} / (0,2 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 10^{-4})] = \\ &= 9545,3 \text{ ч.} \end{aligned}$$

Пример 3.7. ЭВМ имеет $N = 524$ однотипные ячейки. В составе ЗИПа имеется четыре ячейки, каждая из которых может заменить любую отказавшую. Требуется определить вероятность безотказной работы и среднюю наработку до первого отказа в течение 1000 ч, если интенсивность отказов одной ячейки $\lambda = 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Под отказом будем понимать событие, когда ЭВМ не может работать из-за отсутствия ЗИПа (ЗИП израсходован, а еще одна ячейка ЭВМ отказала).

Решение. 1. Так как любую отказавшую ячейку можно заменить любой ячейкой из ЗИПа, то можно применить формулы скользящего резервирования.

Интенсивность отказов нерезервированной системы

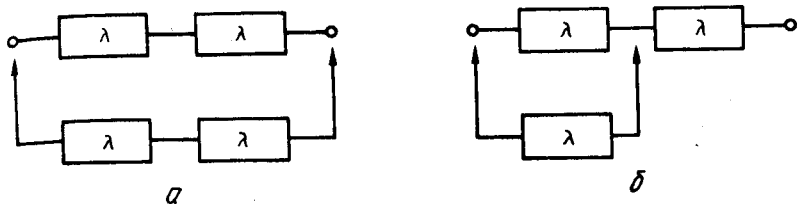


Рис. 3.5. Схема расчета надежности:

a – ненагруженный резерв; *б* – скользящее резервирование

$$\lambda_0 = \lambda N = 0,1 \cdot 10^{-5} \cdot 524 = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Число резервных элементов $m_0 = 4$.

2. Подставляя полученные данные в формулу (3.20), получим

$$P_{\text{ск}}(1000) = e^{-\lambda_0 t} \sum_{i=0}^4 (\lambda_0 t)^i / i! = e^{-\lambda_0 t} (1 + \lambda_0 t + \lambda_0 t)^2 / 2 +$$

$$+ (\lambda_0 t)^3 / 6 + (\lambda_0 t)^4 / 24 = e^{-0,524} (1 + 0,524 + 0,137 + 0,045 +$$

$$+ 0,003) = 0,997.$$

3. $T_{\text{ск}} = T_{\text{ср.}}(m_0 + 1) = 5 / \lambda_0 = 5 / 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} = 9542 \text{ ч}.$

Пример 3.8. Система состоит из двух одинаковых элементов. Для повышения ее надежности предложено два варианта: резервирование по способу замещения с ненагруженным состоянием резерва (рис. 3.5, *a*); скользящее резервирование при одном резервном элементе (рис. 3.5, *б*). Какой из вариантов более целесообразен с точки зрения надежности, если интенсивность отказов элемента λ ?

Решение. В соответствии с формулами (3.16) и (3.20) можем записать

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

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

3.4. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

3.4.1. Интенсивность отказов системы $\lambda_c = 2 \cdot 10^{-3}$. Для повышения надежности имеется возможность либо облегчить режимы работы элементов и, следовательно, снизить интенсивность отказов системы вдвое, либо дублировать его при постоянно включенном резерве без облегчения режимов работы элементов. Закон надежности экспоненциальный. Какой способ более целесообразен, если надежность системы оценивать: вероятностью безотказной работы в течение $t = 50$ ч; средней наработкой до первого отказа.

О т в е т. 1. Более целесообразно дублировать изделие, так как

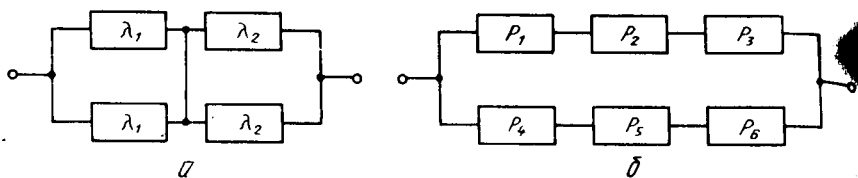


Рис. 3.6. Схема расчета надежности: *a* -- при заданных значениях интенсивностей отказов; *б* -- при заданных значениях вероятностей безотказной работы элементов

при дублировании $P_c(50) = 0,991$, а при облегченном режиме работы элементов $P_c(50) = 0,951$.

2. Более целесообразно облегчить режимы работы элементов, так как при этом среднее время безотказной работы системы возрастает вдвое, а при дублировании — только в 1,5 раза.

3.4.2. Схема расчета надежности приведена на рис. 3.6, *a*: $\lambda_1 = 2 \times 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$; $\lambda_2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Закон надежности экспоненциальный. Определить вероятность безотказной работы в течение $t = 200 \text{ ч}$.

О т в е т. $P_c(200) = 0,992$.

3.4.3. Схема расчета надежности и значения вероятностей безотказной работы элементов приведены на рис. 3.6, *б*: $P_1 = 0,85$; $P_2 = 0,9$, $P_3 = 0,95$; $P_4 = 0,92$; $P_5 = 0,94$; $P_6 = 0,89$. Определить вероятность безотказной работы системы.

О т в е т. $P_c = 0,933$.

3.4.4. Для повышения надежности пятикаскадного УПЧ произведено дублирование каждого каскада путем параллельного соединения. Интенсивность отказов основного и резервного каскадов одинакова и равна $\lambda_k = \text{const}$. Вероятность безотказной работы усилителя с учетом дублирования при $t = 24 \text{ ч}$ составляет $P_y = 0,999$. Определить интенсивность отказов λ_k и среднюю наработку до первого отказа T_{cp} усилителя.

О т в е т. $\lambda_k = 4 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$; $T_{cp} = 1245 \text{ ч}$.

3.4.5. Для повышения надежности устройства применено дублирование замещением при ненагруженном резерве. Интенсивность отказов устройства $\lambda_0 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Время непрерывной работы устройства $t = 100 \text{ ч}$. Определить вероятность безотказной работы и среднюю наработку до первого отказа устройства.

О т в е т. $P_y(100) = 0,9968$; $T_{cp} = 2500 \text{ ч}$.

3.4.6. Устройство управления объектом имеет интенсивность отказов $\lambda_0 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Для повышения надежности подключено второе устройство управления в недогруженном состоянии, интенсивность отказов у него в этом режиме $\lambda_1 = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Определить вероятность безотказной работы устройства управления в течение $t = 48 \text{ ч}$ и среднюю наработку до первого отказа.

О т в е т. $P_y(48) = 0,931$; $T_{cp} = 12840 \text{ ч}$.

3.4.7. ЭВМ имеет 1024 однотипные ячейки. Интенсивность отказов одной ячейки $\lambda = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$. Ячейки не восстанавливаются и при хранении не отказывают. Замена ячеек не вызывает останова ЭВМ. Определить необходимое количество запасных ячеек, чтобы вероятность безотказной работы ЭВМ из-за отказов ячеек была не менее 0,99 в течение 50 ч.

О т в е т. 3 ячейки.

Глава 4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ РЭА

4.1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА

Под расчетом надежности будем понимать определение числовых значений показателей по тем или иным исходным данным. В связи с включением количественных показателей надежности в технические требования на аппаратуру возникает необходимость не только теоретической, но и опытной проверки выполнения этих требований по статистическим данным. Решение этой задачи требует разработки определенных математических методов, а также проведения ряда организационных мероприятий по сбору статистических данных в процессе эксплуатации.

Различают аналитические методы расчета при проектировании аппаратуры и расчет надежности по статистическим данным, полученным в процессе эксплуатации или испытаний.

Общие требования к надежности РЭА устанавливаются с учетом назначения, условий эксплуатации и последствий ее отказов. При разработке задания на проектирование требования к надежности РЭА излагаются в разделе технического задания "Требования к надежности". Они обычно включают следующие вопросы:

- перечень показателей надежности;
- количественные значения показателей надежности;
- сроки расчетов показателей надежности на этапе проектирования;
- методика, условия и место испытаний аппаратуры на надежность;
- точность оценки результатов испытаний на надежность (верхние и нижние доверительные границы, риск изготовителя и потребителя).

Сложная РЭА, в том числе и бытовая, состоит из отдельных блоков, узлов, элементов, от надежности которых зависит реализация установленных параметров надежности РЭА в целом. Следовательно, необходимо распределить требования к надежности отдельных частей аппаратуры (подсистем), исходя из общих требований к надежности РЭА в целом.

Вероятность безотказной работы системы за время t

$$\begin{aligned} P_c(t) &= 1 - q_c(t) = [1 - q_1(t)] [1 - q_2(t)] \dots [1 - q_N(t)] = \\ &= \prod_{i=1}^N [1 - q_i(t)], \end{aligned}$$

Таблица 4.1

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

где q_c – вероятность отказа системы; q_i – вероятность отказа i -й подсистемы; N – число подсистем.

Получив от главного конструктора системы долю ненадежности i -й подсистемы, а также критерии ее отказов, разработчики подсистемы проектируют ее с учетом поставленных требований к ее надежности. При этом определяется необходимость и объем резервирования, средства встроенного контроля, режимы работы элементов и выбираются элементы с требуемой надежностью. Если необходимо, проводится дальнейшая детализация требований к надежности отдельных устройств, блоков, входящих в подсистему.

Разработчики подсистем при составлении структурных и принципиальных схем должны учитывать многие факторы, влияющие на надежность. К основным факторам относятся: выбор схем, обеспечивающих расширение поля допусков на параметры РЭА схемно-техническими методами для практического исключения "постепенных" отказов; выбор элементов с необходимой надежностью, их энергетическую разгрузку в рациональных пределах и защиту от дестабилизирующих факторов конструктивными методами; разработка методов и аппаратуры контроля.

Затем составляется схема надежности каждой из подсистем и системы в целом для последующего проведения аналитического расчета надежности.

Сущность расчета состоит в определении числовых значений основных показателей надежности $P(t)$, $T_{ср}$ или T_0 по известным интенсивностям отказов элементов или отдельных блоков (устройств), входящих в состав данной подсистемы РЭА.

В качестве примера в табл. 4.1 приведены усредненные данные об интенсивности отказов ряда элементов РЭА.

При рассмотрении методов расчета надежности будем полагать, что никаких предварительных мер по ее повышению не принято, ис-

пользуемые элементы типовые и соединены между собой последовательно.

Зависимость между вероятностью безотказной работы элемента и интенсивностью его отказов, полагая, что время безотказной работы распределено по произвольному закону, определяется выражением (2.12).

Вероятность безотказной работы объекта с последовательным соединением элементов по надежности можно представить в виде произведения вероятностей безотказной работы ее элементов:

$$P(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t),$$

где N — число элементов в объекте.

Заменив $P_i(t)$ его значением из равенства (2.12), запишем

$$P(t) = \prod_{i=1}^N \exp \left[- \int_0^t \lambda_i(t) dt \right] = \exp \left[- \sum_{i=1}^N \int_0^t \lambda_i(t) dt \right]. \quad (4.1)$$

Обозначив

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i(t) = \Lambda_0(t),$$

получим

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \Lambda_0(t) dt \right]. \quad (4.2)$$

Обычно любая аппаратура состоит из некоторого количества групп различных элементов, имеющих приблизительно одинаковую надежность. Тогда для системы, имеющей k групп элементов, получим

$$\Lambda_0(t) = \sum_{i=1}^k N_i \lambda_i(t).$$

$$P(t) = \exp \left[- \sum_{i=1}^k N_i \int_0^t \lambda_i(t) dt \right]. \quad (4.3)$$

В частном случае, когда интенсивность отказов можно считать постоянной во времени (для экспоненциального закона),

$$\Lambda_0(t) = \Lambda = \text{const} = \sum_{i=1}^k N_i \lambda_i.$$

Тогда

$$P(t) = e^{-\Lambda t}. \quad (4.4)$$

Важным свойством экспоненциального закона является то, что вероятность безотказной работы в течение заданного промежутка времени t не зависит от того, сколько времени объект проработал до этого.

Среднее время работы до первого отказа (наработка на отказ), показатели ремонтпригодности и готовности вычисляются по формулам, приведенным в гл. 2.

При расчете показателей ремонтпригодности и готовности средняя продолжительность текущего ремонта обычно берется из опыта эксплуатации ранее созданных аналогичных радиоэлектронных устройств.

Таким образом, для аналитического расчета надежности необходимо распределить требования по надежности отдельных подсистем (узлов, блоков) исходя из общих требований к надежности устройства в целом; составить схему надежности; иметь данные об интенсивности отказов элементов (блоков, ИС), законе распределения отказов и среднем времени текущего ремонта.

4.2. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Для оценки надежности по статистическим данным необходима большая работа по правильному и объективному сбору этих данных. Объем собираемой информации определяется целями оценки, особенностями РЭА и условиями ее эксплуатации.

Для определения количественных показателей надежности и выявления наименее надежных элементов при сборе статистических данных необходимо получить:

сведения об отказавшем блоке, узле, элементе и его изготовителях;

сведения о времени наступления отказа;

сведения о причине отказа;

сведения о наработке (интенсивности отказов) отдельных элементов, блоков, аппаратуры в целом;

сведения о времени ремонта на месте, в мастерской, времени простоя.

Расчет надежности по статистическим данным может проводиться либо в процессе испытаний на надежность, либо на основе опыта эксплуатации.

Для сбора статистических данных о надежности разрабатываются специальные документы, в которые заносятся все необходимые данные для расчета надежности. Основой являются журнал учета отказов и отчеты о надежности.

При расчете надежности по данным отчетов для каждого типа аппаратуры составляется таблица потока отказов (табл. 4.2).

На основании этой таблицы строится вариационный ряд наработки данного устройства (табл. 4.3).

Таблица 4.2

Номер отказа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наработка $T_0, ч$	37	53	86	65	2	15	18	69	77	5	6	25	21	3	119

Окончание табл. 4.2

Номер отказа	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Наработка $T_0, ч$	107	98	56	35	28	20	13	9	3	7	8	9	8	17	16

Таблица 4.3

Номер отказа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наработка $T_0, ч$	2	3	3	5	6	7	8	8	9	9	13	15	16	17	18

Окончание табл. 4.3

Номер отказа	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Наработка $T_0, ч$	20	21	25	28	35	37	53	56	65	69	77	86	98	107	119

Для наглядности в табл. 4.2 и 4.3 приведены числовые значения.

При большем числе наблюдений (порядка сотен) вариационный ряд перестает быть удобной формой записи статистического материала — он становится слишком громоздким и малонаглядным. Для придания ему большей компактности и наглядности он подвергается дополнительной обработке. Для этого весь диапазон зафиксированных значений отказов делится на интервалы времени Δt_i и подсчитывается количество отказов n_i , приходящихся на каждый i -й интервал.

Далее строится таблица (табл. 4.4), в которой приводятся интервалы в порядке их расположения вдоль оси абсцисс (число отказов в интервале Δt_i), оценки рассчитываемых показателей надежности для каждого интервала Δt_i . Эта таблица называется статистическим рядом. По данным этого ряда строятся гистограммы для оцениваемых показателей надежности.

В качестве примера в табл. 4.5 приведен статистический ряд по данным вариационного ряда табл. 4.3, а на рис. 4.1 и 4.2 показаны

Таблица 4.4

Δt_i	n_i	$P(t)$	$q(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$	$T_0, \text{ч}$

Таблица 4.5

$\Delta t_i, \text{ч}$	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	100–120
n_i	16	5	2	3	2	2
$\lambda(t), 1/\text{ч}$	0,0363	0,0218	0,0125	0,027	0,033	–
$P(t)$	0,46	0,3	0,23	0,13	0,07	–

гистограммы, по которым определяются зависимости $\lambda(t)$ и $P(t)$. Интервал Δt_i принят равным 20 ч.

В дальнейшем построенные гистограммы аппроксимируются кривой, по виду которой можно ориентировочно установить закон распределения отказов путем сравнения с соответствующими теоретическими кривыми.

Основной особенностью оценки надежности по статистическим данным является ограниченность статистического материала, которого недостаточно для точного определения эксплуатационных показателей. Следует отметить, что любое значение искомого показателя, вычисленное на основе ограниченного числа опытов, всегда будет содержать элемент случайности. Такое приближенное, случайное значение показателя называют оценкой показателя.

К оценке \bar{v} параметра v предъявляется ряд требований, которым она должна удовлетворять.

Во-первых, оценка \bar{v} при увеличении числа опытов n должна при-

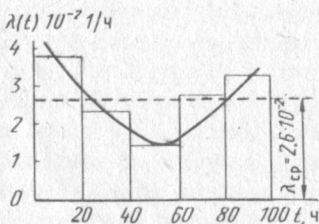


Рис. 4.1. Гистограмма $\lambda(t)$:
 — экспериментальная;
 - - - теоретическая

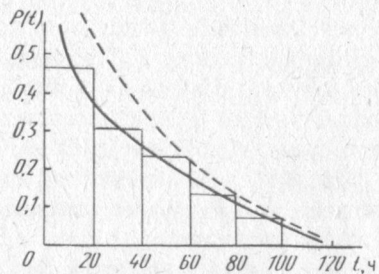


Рис. 4.2. Гистограмма $P(t)$:
 — экспериментальная;
 - - - теоретическая

ближаться к параметру ν . Оценка, обладающая таким свойством, называется состоятельной.

Во-вторых, желательно, чтобы оценка $\bar{\nu}$ не обладала систематической ошибкой, т.е., чтобы выполнялось условие

$$M[\bar{\nu}] = \nu. \quad (4.5)$$

Оценка, удовлетворяющая условию (4.5), при котором ее математическое ожидание равно оцениваемому параметру, называется несмещенной.

В-третьих, выбранная несмещенная оценка должна обладать по сравнению с другими наименьшей дисперсией, т.е.

$$D[\bar{\nu}] = \min. \quad (4.6)$$

Оценка, обладающая таким свойством, называется эффективной.

На практике не всегда удастся удовлетворять перечисленным требованиям. Однако выбору оценки всегда должно предшествовать критическое рассмотрение с указанных выше точек зрения.

Пусть имеется случайная величина X с математическим ожиданием M_x и дисперсией D_x , которые неизвестны. Над величиной X проведено n независимых опытов, давших результаты $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$.

В качестве оценки для математического ожидания берется среднее арифметическое наблюдаемых значений случайной величины, определяемое формулой (1.11). В качестве оценки для дисперсии берется статистическая дисперсия [выражение (1.12)]. Дисперсия математического ожидания и дисперсия дисперсии определяются соответственно равенствами (1.13) и (1.14).

Оценки, полученные по указанным формулам, называются точечными.

На практике часто требуется не только найти статистические математическое ожидание \bar{M}_ν и дисперсию \bar{D}_ν для параметра ν , но и оценить их точность и надежность. Требуется знать, к каким ошибкам может привести замена параметра ν его точечной оценкой $\bar{\nu}$ и с какой степенью уверенности можно ожидать, что эти ошибки не выйдут за определенные пределы?

Для характеристики точности и надежности оценки $\bar{\nu}$ пользуются так называемыми доверительными интервалами и доверительными вероятностями.

Пусть для параметра ν получена из n опытов несмещенная оценка $\bar{\nu}$. Оценим вероятность, при которой допущенная при этом ошибка не превзойдет некоторой величины ϵ . Обозначим эту вероятность

$$P(\epsilon) = P(|\bar{\nu} - \nu| < \epsilon). \quad (4.7)$$

Это есть вероятность того, что истинное значение ν будет заключаться в пределах $\bar{\nu} - \epsilon, \bar{\nu} + \epsilon$.

Вероятность $P(\epsilon)$ называется доверительной вероятностью, границы $\bar{\nu} - \epsilon, \bar{\nu} + \epsilon$ — доверительными границами, интервал $I_\epsilon = \bar{\nu} \pm \epsilon$ — довери-

тельным интервалом. Доверительный интервал характеризует точность полученного результата, а доверительная вероятность — его надежность.

Доверительный интервал при нормальном распределении. Вопрос точности и надежности оценок числовых характеристик наиболее подробно исследован для случая, когда наблюдаемая случайная величина распределена по нормальному закону.

Пусть величина X распределена по нормальному закону с параметрами M_x и σ_x . Рассмотрим вопрос о нахождении доверительных границ для математического ожидания. Требуется найти вероятность неравенства

$$|\bar{M}_x - M_x| < \epsilon. \quad (4.8)$$

Если бы закон распределения величины \bar{M}_x был известен, то нахождение вероятности неравенства (4.8) не вызывало бы затруднений. Однако закон распределения оценки \bar{M}_x зависит от распределения величины X и ее неизвестных параметров M_x и σ_x . Известно, что величина X распределена по нормальному закону, но ввиду того, что параметры M_x и σ_x этого закона неизвестны, воспользоваться этим законом распределения невозможно. Чтобы обойти это затруднение, введем вместо случайной величины \bar{M}_x другую случайную величину T_m :

$$T_m = (\bar{M}_x - M_x) / \sigma_m, \quad (4.9)$$

$$\text{где } \sigma_m = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{M}_x)^2 / n(n-1)}} = \sqrt{\bar{D}_x / n}. \quad (4.10)$$

В математической статистике доказано, что случайная величина T_m подчиняется так называемому закону распределения Стьюдента:

$$S_n(t) = \frac{\Gamma(n/2)}{\sqrt{\pi(n-1)} \Gamma[(n-1)/2]} \left(1 + \frac{t^2}{n-1}\right)^{-n/2}, \quad (4.11)$$

где $\Gamma(n/2)$ — гамма-функция.

Из равенства (4.11) видно, что распределение Стьюдента не зависит от параметров M_x и σ_x величины X , а зависит только от аргумента t и числа наблюдений n . Распределение Стьюдента позволяет найти вероятность неравенства (4.8).

Зададимся произвольным положительным числом t_a и найдем вероятность попадания величины T_m на участок $(-t_a, t_a)$

$$P(|T_m| < t_a) = \int_{-t_a}^{t_a} S_n(t) dt = 2 \int_0^{t_a} S_n(t) dt. \quad (4.12)$$

Подставив в левую часть формулы (4.12) вместо T_m его значение из выражения (4.9), получим

$$P(|\bar{M}_x - M_x| < t_a \sigma_m) = 2 \int_0^{t_a} S_n(t) dt, \quad (4.13)$$

или

$$P(t_a \sigma_m) = P(\epsilon) = 2 \int_0^{t_a} S_n(t) dt, \quad (4.14)$$

где $\epsilon = t_a \sigma_m$; t_a – квантиль распределения Стьюдента для выбранной вероятности $P(\epsilon)$ и числа степеней свободы $r = n - 1$.

Величина t_a табулирована и имеется в табл. 6 приложения. С помощью такой табулированной функции можно решать практические задачи по оценке точности математического ожидания. Доверительный интервал находится следующим образом:

1. Задаемся доверительной вероятностью $P(\epsilon)$. Обычно $P(\epsilon) = 0,8; 0,9; 0,95; 0,99$.

2. Находим величину σ_m по формуле (4.10).

3. Определяем число степеней свободы $r = n - 1$.

4. По известным r и $P(\epsilon)$ находим по табл. 6 приложения величину t_a .

5. Умножая t_a на σ_m , находим $\epsilon = t_a \sigma_m$ – половину длины доверительного интервала.

6. Доверительный интервал будет $I_\epsilon = \bar{M}_x \pm \epsilon$.

Пример 4.1. При испытании десяти устройств, отказы которых распределены по нормальному закону, получены следующие значения времени безотказной работы в часах:

T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{04}	T_{05}	T_{06}	T_{07}	T_{08}	T_{09}	T_{010}
150	100	70	200	100	100	150	200	80	150

Определить $\bar{T}_{ср}$, $\bar{\sigma}_T$ и для $\bar{T}_{ср}$ найти доверительный интервал с $P(\epsilon) = 0,9$.

Решение. 1. $\bar{T}_0 = (1/10) (150 + 100 + 70 + 200 + 100 + 100 + 150 + 200 + 80 + 150) \text{ ч} = 130 \text{ ч}$.

2. Находим σ_m по приведенным ниже промежуточным данным:

$T_{0i} - \bar{T}_0$	20	30	60	70	30	30	20	70	50	20
----------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

$(T_{0i} - \bar{T}_0)^2$	400	900	3600	4900	900	900	400	4900	2500	400
--------------------------	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	------	------	-----

$$\sum_{i=1}^{10} (T_{0i} - \bar{T}_0)^2 = 19800 \text{ ч}^2; \quad \sigma_m = \sqrt{19800/[10(10-1)]} =$$

$$= 14,8 \text{ ч}; \quad \bar{\sigma}_T = \sqrt{19800/9} = 47 \text{ ч}.$$

3. С помощью табл. 6 приложения при $r = n - 1 = 9$ и $P(\epsilon) = 0,9$ находим $t_a = 1,833$.

Доверительный интервал $I_\epsilon = \bar{T}_0 \pm \epsilon$;

$$\epsilon = \sigma_m t_a = 14,8 \text{ ч} \cdot 1,833 = 27 \text{ ч};$$

$$T_{0H} = 130 \text{ ч} - 27 \text{ ч} = 103 \text{ ч}; \quad T_{0B} = 130 \text{ ч} + 27 \text{ ч} = 157 \text{ ч};$$

$$I_{\epsilon} = (103 - 157) \text{ ч}.$$

✓ **Доверительный интервал при экспоненциальном распределении.**
 При экспоненциальном законе распределения отказов оценки параметров λ и T_0 соответственно равны

$$\left. \begin{aligned} \bar{\lambda} &= n/t_{\Sigma}; \\ \bar{T}_0 &= t_{\Sigma}/n, \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

где n — число отказов в интервале t_{Σ} ; t_{Σ} — суммарная наработка.

Для неремонтируемых элементов (объектов)

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_i + (N - n) t_H. \quad (4.16)$$

где t_i — время исправной работы i -го отказавшего элемента (объекта); N — количество объектов; t_H — время испытаний; n — число отказавших объектов.

В случае, если испытания проводятся до тех пор, пока не откажут все поставленные на испытания объекты, суммарная наработка

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N t_i. \quad (4.17)$$

Для ремонтируемых элементов

$$t_{\Sigma} = N t_H. \quad (4.18)$$

Доверительный интервал для интенсивности отказов λ в этом случае находится с помощью табл. 1 приложения, в которой параметрами являются доверительная вероятность $P(\epsilon)$ и число степеней свободы r .

Нижняя λ_H и верхняя λ_B границы интенсивности отказов

$$\lambda_H = \bar{\lambda}/r_1, \quad (4.19)$$

где $r_1 = 2n/\chi^2 [P(\epsilon), 2n]$. (4.20)

$$\lambda_B = \bar{\lambda}/r_2, \quad (4.21)$$

где $r_2 = 2n/\chi^2 [1 - P(\epsilon), 2n]$. (4.22)

В формулах (4.20) и (4.22) $\chi^2 [2n]$ — квантили распределения χ^2 при числе степеней свободы $r = 2n$.

Значения коэффициентов r_1 и r_2 табулированы для различных вероятностей $P(\epsilon)$ и n и приведены в табл. 2 и 3 приложения.

Учитывая, что при экспоненциальном распределении $\bar{T}_0 = \bar{T}_{\text{ср}} = 1/\bar{\lambda}$, получим

$$T_{0B} = 1/\lambda_H = \bar{T}_0 r_1; \quad (4.23)$$

$$T_{0H} = 1/\lambda_B = \bar{T}_0 r_2. \quad (4.24)$$

В том случае, когда в процессе испытаний в течение времени t_H

не получено ни одного отказа, верхнюю доверительную границу интенсивности отказов находят из выражения

$$\lambda_B = r_0/t_{\Sigma}, \quad (4.25)$$

где $r_0 = 1/2 \chi^2 [P(\epsilon), 2]$ при $r = 2$.

Значения r_0 для различных вероятностей $P(\epsilon)$ приведены в табл. 4 приложения.

На практике часто требуется получить в процессе испытаний интенсивность отказов с ошибкой, не превосходящей заданную. В этом случае при планировании испытаний требуется определить число отказов n , количество экземпляров аппаратуры N , поставленной на испытания (объем выборки), суммарную наработку аппаратуры t_{Σ} и длительность этапа испытаний (электропрогона) — $t_{и}$.

Если заданная предельная ошибка выражена в процентах и равна ξ_0 , то

$$\left. \begin{aligned} r_{\xi} &= \bar{\lambda}/\lambda_H = 1 + \xi_0/100, \\ \text{или} \\ r_{\xi} &= T_{0B}/\bar{T}_0 = 1 + \xi_0/100. \end{aligned} \right\} \quad (4.26)$$

Для экспоненциального распределения времени безотказной работы

$$r_{\xi} = r_1 = 2n/\chi^2 [P(\epsilon), 2n].$$

Тогда, при заданной вероятности $P(\epsilon)$ и $r_{\xi} = r_1$ с помощью табл. 2 приложения определяем количество отказов n , которое необходимо получить в процессе испытаний. Объем выборки находим из выражения (4.18).

Результаты испытаний считаются положительными, если

$$\left. \begin{aligned} (1 + r_{\xi}) \lambda_H &\leq \bar{\lambda}, \\ \text{или} \\ (1 + r_{\xi}) \bar{T}_0 &\geq T_{B.} \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

Пример 4.2. При экспоненциальном законе распределения отказов при испытаниях $N = 10$ устройств до выхода их из строя получены следующие значения наработки в часах: $T_1 = 30$, $T_2 = 50$, $T_3 = 35$, $T_4 = 85$, $T_5 = 100$, $T_6 = 150$, $T_7 = 250$, $T_8 = 300$, $T_9 = 400$, $T_{10} = 600$. Требуется определить: оценку интенсивности отказов $\bar{\lambda}$; верхнюю и нижнюю доверительные границы λ при $P(\epsilon) = 0,95$; оценку наработки T_0 и его нижнюю границу с вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$.

Решение. 1. На основании формул (4.15) и (4.17) имеем

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{10} T_i \text{ ч} = 2000 \text{ ч}; \quad \bar{\lambda} = n/t_{\Sigma} = 10/2000 \text{ ч} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

2. Пользуясь табл. 2 и 3 приложения, определим

$$\lambda_H = \bar{\lambda}/r_1 = 5 \cdot 10^{-3}/1,83 = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_B = \bar{\lambda}/r_2 = 5 \cdot 10^{-3}/0,63 = 7,8 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}.$$

3. Найдем $\bar{T}_0 = 1/\bar{\lambda} = 1/5 \cdot 10^{-3} = 200$ ч.

$T_{0H} = 1/\lambda_B = 1/7,8 \cdot 10^{-3} = 128$ ч.

Пример 4.3. За время испытаний $t_H = 500$ ч отказало $n = 6$ устройств из $N = 30$, поставленных на испытания, причем отказавшие устройства проработали до выхода из строя соответственно 50, 150, 200, 300, 350, 400, 450 ч. Требуется определить оценку $\bar{\lambda}$ и доверительный интервал для λ при $P(\epsilon) = 0,8$.

Решение. 1. На основании формулы (4.16) имеем

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^6 T_i + (N - n) t_H = [50 + 150 + 200 + 300 + 350 + 400 + 450 + (30 - 6) 500] \text{ ч} = 13\,500 \text{ ч.}$$

2. $\bar{\lambda} = n/t_{\Sigma} = 6/13\,500 = 4,44 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$.

3. Пользуясь табл. 2 и 3 приложения, находим

$$\lambda_H = 4,44 \cdot 10^{-4} / 1,54 = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1};$$

$$\lambda_B = 4,44 \cdot 10^{-4} / 0,76 = 5,84 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1};$$

$$I_{\epsilon} = 2,9 \cdot 10^{-4} - 5,84 \cdot 10^{-4}, \text{ ч}^{-1}.$$

Пример 4.4. При испытаниях $N = 60$ радиоприемников в течение времени $t_H = 1000$ ч не зарегистрировано ни одного отказа. Требуется определить верхнюю доверительную границу интенсивности отказов с вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$.

Решение. 1. Определяем t_{Σ} по формуле (4.20):

$$t_{\Sigma} = 60 \cdot 1000 = 6 \cdot 10^4 \text{ ч.}$$

2. Находим по табл. 4 приложения при $P(\epsilon) = 0,95$ значение $r_0 = 3$.

$$3. \lambda_B = r_0/t_{\Sigma} = 3/6 \cdot 10^4 = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Пример 4.5. В технических условиях на усилитель радиочастоты задана наработка на отказ $T_0 = 5000$ ч. На испытания поставлено $N = 150$ таких усилителей. Определить время испытания и доверительные границы для оценки T_0 с ошибкой не более 30% при доверительной вероятности $P(\epsilon) = 0,95$.

Решение. 1. Пользуясь формулой (4.26), получим

$$T_{0B} = r_{\xi} T_0 = (1 + 0,3) 5000 = 6500 \text{ ч.}$$

2. По табл. 2 приложения при $P(\epsilon) = 0,95$ и $r_1 = r_{\xi} = 1,3$ находим $n = 45$.

3. По табл. 3 приложения при $P(\epsilon) = 0,95$ и $n = 45$ определяем $r_2 = 0,79$, тогда в соответствии с равенством (4.24) получим

$$T_{0H} = r_2 T_0 = 0,79 \cdot 5000 = 3950 \text{ ч.}$$

4. Суммарное время испытаний

$$t_{\Sigma} = n T_0 = 45 \cdot 5000 = 22,5 \cdot 10^4 \text{ ч.}$$

5. Необходимое время испытаний для оценки T_0 с заданной точностью при объеме выборки $N = 150$ находим из выражения (4.18) :

$$t_{\Sigma} = t_{\Sigma}/N = 22,5 \cdot 10^4/150 = 1500 \text{ ч.}$$

Пример 4.6. Определить объем испытаний (объем выборки N и количество отказов n) для оценки наработки на отказ при экспоненциальном распределении отказов с ошибкой не более 20% при доверительной вероятности $P(\epsilon) = 0,9$, если предполагаемое значение $T_0 = 3200$ ч, а длительность испытаний $t_{\Sigma} = 2000$ ч.

Решение. 1. $T_{0B}/T_0 = 1 + \xi_0/100 = r_1 = 1 + 20/100 = 1,2$.

2. По табл. 2 приложения для $r_1 = 1,2$ и $P(\epsilon) = 0,9$ находим $n = 55$.

3. $t_{\Sigma} = nT_0 = 55 \cdot 3200 = 17,6 \cdot 10^4$ ч.

4. $N = t_{\Sigma}/t_{\Sigma} = 17,6 \cdot 10^4/2 \cdot 10^3 = 88$.

Доверительный интервал при распределении Пуассона. Доверительные границы в случае распределения Пуассона вычисляются по формулам:

$$a_{\text{H}} = n/r_1; \quad (4.28)$$

$$a_{\text{B}} = n/r_2, \quad (4.29)$$

где a — параметр распределения Пуассона (математическое ожидание числа отказов); $a = \lambda t$; n — количество отказов, возникших в процессе испытаний; коэффициенты r_1 и r_2 определяются по формулам (4.20) и (4.22) и приведены в табл. 2 и 3 приложения соответственно.

Доверительный интервал для интенсивности отказов находится следующим образом:

1. Задаемся доверительной вероятностью $P(\epsilon)$.

2. По заданным n и $P(\epsilon)$ находим по табл. 2 и 3 приложения коэффициенты r_1 и r_2 .

3. Рассчитываем по формулам (4.28) и (4.29) значения a_{H} и a_{B} .

По заданной суммарной наработке t_{Σ} находим доверительные границы для λ :

$$\lambda_{\text{H}} = a_{\text{H}}/t_{\Sigma}; \quad \lambda_{\text{B}} = a_{\text{B}}/t_{\Sigma}.$$

Пример 4.7. Суммарная наработка телевизора составила $t_{\Sigma} = 1,6 \times 10^4$ ч и за это время наблюдалось 8 отказов. Требуется определить доверительный интервал для интенсивности отказов λ при распределении Пуассона с доверительной вероятностью $P(\epsilon) = 0,9$.

Решение. 1. По табл. 2 и 3 приложения находим для $n = 8$ и $P(\epsilon) = 0,9$, значения $r_1 = 1,72$ и $r_2 = 0,6$.

2. Рассчитываем $a_{\text{H}} = 8/1,72 = 4,65$; $a_{\text{B}} = 8/0,6 = 13,3$.

3. Определяем $\lambda_{\text{H}} = 4,65/1,6 \cdot 10^4 = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$;

$$\lambda_{\text{B}} = 13,3/1,6 \cdot 10^4 = 8,3 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1};$$

$$I_{\epsilon} = 2,9 \cdot 10^{-4} - 8,3 \cdot 10^{-4}, \text{ ч}^{-1}.$$

4.3. КРИТЕРИИ СОГЛАСИЯ

Из рассмотрения кривых, приведенных на рис. 4.2 видно, что между теоретической кривой и статистическим распределением имеется расхождение. На практике такие расхождения всегда неизбежны. При этом необходимо убедиться, вызваны ли эти расхождения только случайными обстоятельствами, связанными с ограниченным числом наблюдений, или они являются существенными и связаны с тем, что выбранная кривая плохо выравшивает данное статистическое распределение. Следовательно, возникает вопрос о согласованности теоретического и статистического распределений. Проверка такой согласованности осуществляется по критериям согласия.

Наиболее употребительными критериями являются критерий Колмогорова и критерий χ^2 Пирсона.

Критерий Колмогорова. При применении критерия согласия Колмогорова в качестве меры расхождения между теоретическим и статистическим распределением рассматривается максимальное значение модуля разности между теоретической и экспериментальной функциями распределения (рис. 4.3).

На основании этого критерия экспериментальное распределение согласуется с выбранным теоретическим, если выполняется условие

$$\Delta r = \Delta F \sqrt{n} \leq 1, \quad (4.30)$$

где $\Delta F = \max | \bar{F}(t) - F(t) |$ — наибольшее отклонение теоретической кривой распределения от экспериментальной; n — общее количество экспериментальных данных.

Недостатком критерия Колмогорова является то, что он требует предварительного знания теоретического распределения, т.е. его можно применять, когда известны не только вид функции распределения $F(t)$, но и ее параметры M_t , σ_t . Такой случай редко встречается на практике. Если все же применять этот критерий в тех случаях, когда параметры теоретического распределения находятся по статистическим данным, то критерий дает заведомо завышенные значения Δr , что может иногда привести к неверным выводам.

Пример 4.8. По данным вариационного ряда (см. табл. 4.3) и статистического ряда (см. табл. 4.5) проверить гипотезу об экспонен-

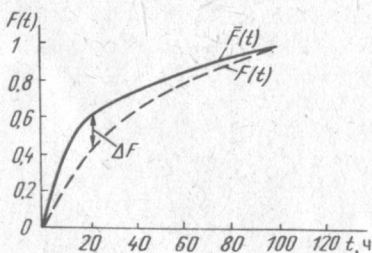


Рис. 4.3. Функции распределения $F(t)$:

— — — — теоретическая;
— — — — экспериментальная

Таблица 4.6

$t, ч$	20	40	60	80	100	120
$F(t)$	0,54	0,7	0,77	0,87	0,93	—
$\bar{F}(t)$	0,41	0,64	0,78	0,88	0,93	—

циальном распределении времени исправной работы устройства, используя критерий Колмогорова.

Решение. 1. По данным табл. 4.5 находим $\bar{F}(t) = \bar{q}(t) = 1 - \bar{P}(t)$. Полученные результаты приведены в средней строке табл. 4.6.

2. Находим теоретическое распределение, считая закон распределения отказов экспоненциальным:

$$q(t) = 1 - \exp(-\lambda_{\text{ср}} t);$$

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{(0,036 + 0,0218 + 0,0125 + 0,027 + 0,033)}{5} = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1}.$$

Тогда $q(t) = 1 - e^{-2,6 \cdot 10^{-2} t}$. Полученные данные занесены в нижнюю строку табл. 4.6.

3. По данным табл. 4.6 строим теоретическую и экспериментальную кривые $F(t) = q(t)$ (см. рис. 4.3). Из этого рисунка и табл. 4.6 видно, что $\Delta F = 0,13$.

Проверяем соответствие закона по критерию согласия Колмогорова:

$$\Delta_r = \Delta F \sqrt{n} = 0,13 \sqrt{30} = 0,82 < 1.$$

В соответствии с формулой (4.30) считаем, что закон распределения экспоненциальный.

Критерий χ^2 Пирсона. Критерий χ^2 Пирсона не требует построения самого закона распределения. Достаточно задаться только общим видом функции $F(t)$, а входящие в нее числовые параметры определяются по данным эксперимента.

Предположим, что произошло n отказов и, следовательно, имеется ряд наработок $T_{01}, T_{02}, T_{03}, \dots, T_{0n}$ устройства. Требуется проверить гипотезу о том, что статистическое распределение наработки устройства согласуется с каким-либо известным законом (нормальным, экспоненциальным, Вейбулла и т.п.). Разбиваем ось времени $(0, \infty)$ на k интервалов Δt $[(0, t_1), (t_1, t_2), \dots, (t_{k-2}, t_{k-1}), (t_{k-1}, \infty)]$. Рассчитываем теоретическую вероятность P_i попадания в i -й интервал при одном опыте. Подсчитываем число n_i наработок, попавших в i -й интервал.

Тогда при проверке такого согласования с использованием критерия χ^2 Пирсона вычисляется вероятность:

$$P_r = (\chi^2 \leq \Delta_r < \infty) = \int_{\chi^2}^{\infty} K_r(u) du, \quad (4.31)$$

где Δ_r – мера расхождения; χ^2 – функция плотности распределения, вычисляемая из выражения

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k (n_i - nP_i)^2 / nP_i. \quad (4.32)$$

Здесь n – общее число отказов; n_i – число отказов в i -м интервале; P_i – вероятность попадания отказов в i -й интервал; k – число интервалов статистического ряда.

$$K_r(u) = u^{(r/2) - 1} e^{-u/2} / [2^{r/2} \Gamma(r/2)], \quad (4.33)$$

где $r = k - 1$ – число степеней свободы распределения.

Для распределения χ^2 составлены специальные таблицы (табл. 1 приложения), пользуясь которыми можно для каждого значения χ^2 и числа степеней свободы r найти вероятность $P_r(\chi^2 \leq \Delta_r < \infty)$.

Если вероятность $P_r(\chi^2 \leq \Delta_r < \infty) \leq 0,1$, то следует считать неудачным выбранное теоретическое распределение. В противном случае считают, что взятое теоретическое распределение согласуется с экспериментальным и может быть принято.

Схема применения критерия χ^2 в оценке согласованности теоретического и статистического распределений сводится к следующему: определяется χ^2 по формуле (4.32);

находится число степеней свободы $r = k - 1$;

по r и χ^2 с помощью табл. 1 приложения определяется вероятность P_r ;

если $P_r \leq 0,1$, гипотеза отбрасывается как неправдоподобная, при $P_r > 0,1$ гипотезу можно признать не противоречащей опытным данным.

Пример 4.9. Произведено 500 измерений чувствительности приемника E_c . Результаты измерений сведены в статистический ряд (табл. 4.7).

В табл. 4.7 n_i – количество измерений в i -м интервале; $\bar{P}_i = n_i/n$ – частота попадания измерений в i -й интервал. Необходимо проверить гипотезу о нормальном распределении статистического распределения чувствительности по критерию χ^2 Пирсона.

Решение. 1. Вычислим математическое ожидание и дисперсию

Таблица 4.7

E_c , мкВ	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90
n_i	6	25	72	133	120	88	46	10
P_i	0,012	0,05	0,14	0,266	0,240	0,176	0,092	0,02

статистического распределения. Причем за представителя каждого интервала примем его середину.

$$\bar{M}_E = \sum_{i=1}^8 E_{ci} P_i = 15 \cdot 0,012 + 25 \cdot 0,05 + 35 \cdot 0,144 + 45 \cdot 0,266 + \\ + 55 \cdot 0,24 + 65 \cdot 0,176 + 75 \cdot 0,092 + 85 \cdot 0,02 = 51,41.$$

$$\sigma_E = \sqrt{\sum_{i=1}^8 (E_{ci} - \bar{M}_E)^2 P_i} = 13,27.$$

2. Найдем теоретическую вероятность попадания в интервалы

$$P_i = \frac{1}{2} \left\{ \Phi_0 \left[\frac{(E_{i+1} - \bar{M}_E)}{0,477 \sigma_E \sqrt{2}} \right] - \right. \\ \left. - \Phi_0 \left[\frac{(E_i - \bar{M}_E)}{0,477 \sigma_E \sqrt{2}} \right] \right\},$$

где $\Phi_0 [z]$ – приведенная функция Лапласа (табл. 11 приложения); E_i, E_{i+1} – границы i -го интервала.

3. Составим сравнительную таблицу (табл. 4.8) числа попаданий n_i и соответствующих значений nP_i ($n = 500$).

По формуле (4.32) определим

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^8 (n_i - nP_i)^2 / nP_i = 11,43.$$

По табл. 1 приложения находим для $r = k - 1 = 7$: при $\chi^2 = 12$ вероятность $P_r = 0,1$; при $\chi^2 = 9,8$ вероятность $P_r = 0,2$.

Следовательно, при $\chi^2 = 11,43$ вероятность $P_r = 0,13$. Поэтому гипотезу о том, что величина E_c распределена по нормальному закону, можно считать правдоподобной.

Пример 4.10. По данным об отказах в процессе испытаний устройства построен вариационный ряд (табл. 4.9).

Необходимо проверить согласие данных испытаний с гипотезой об экспоненциальном распределении, используя критерий χ^2 Пирсона.

Таблица 4.8

E_c , мкВ	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90
P_i	0,008	0,045	0,145	0,26	0,284	0,178	0,065	0,014
n_i	6	25	72	133	120	88	46	10
nP_i	4,1	22,2	72,1	130	142	89	32,6	7

Таблица 4.9

Номер отказа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T_0 , ч	1	1,5	2	2,5	4	4,5	5	7	8,5	9
Номер отказа	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
T_0 , ч	9,5	10	10,5	11	14	16	17	18	18,5	19
Номер отказа	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
T_0 , ч	20	21	24	28	32	34	35	38	39	43
Номер отказа	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
T_0 , ч	44,5	45	48	49	50	52	53	60	65	70
Номер отказа	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
T_0 , ч	71	74	82	92	93	96	99	102	103	104
Номер отказа	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
T_0 , ч	108	112	116	117	120	121	122	123	126	138
Номер отказа	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
T_0 , ч	145	150	154	159	165	169	177	189	205	243
Номер отказа	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
T_0 , ч	249	255	267	289	292	306	331	337	366	386

Р е ш е н и е 1. По данным табл. 4.9 строим статистический ряд с интервалом $\Delta t_i = 50$ ч:

Δt_i , ч	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-∞
n_i	35	12	15	6	3	4	3	2

2. Строим теоретическую кривую (рис. 4.4), используя формулы $F(t) = q(t) = 1 - \exp(-t/\bar{T}_0)$;

Рис. 4.4. Теоретическая функция распределения времени безотказной работы

$$\bar{T}_0 = (\sum_{i=1}^{80} T_{0i})/80 \approx 100.$$

3. По формуле (4.32) рассчитываем

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^8 (n_i - nP_i)^2/nP_i.$$

При этом величина P_i берется равной приращению функции распределения $F(t)$ на i -м участке (см. рис. 4.4). Последовательность расчета величины χ^2 сведена в табл. 4.10.

В результате расчета получаем

$$\chi^2 = 0,28 + 2,31 + 0,75 + 0,2 + 0,25 + 1,06 + 1,25 + 0,07 = 6,17$$

Таблица 4.10

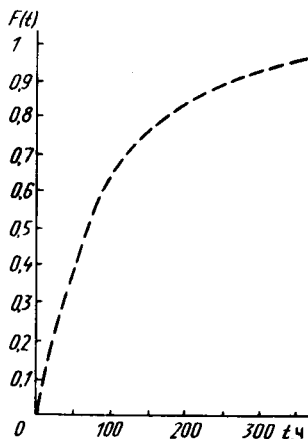
n_i	35	12	15	6	3	4	3	2
P_i	0,4	0,23	0,15	0,09	0,05	0,03	0,02	0,03
nP_i	32	18,4	12	7,2	4	2,4	1,6	2,4
$(n_i - nP_i)^2$	9	42,5	9	1,44	1,0	2,56	1,96	0,16
$(n_i - nP_i)^2/nP_i$	0,28	2,31	0,75	0,2	0,25	1,06	1,25	0,07

По табл. 1 приложения при $\chi^2 = 6,17$ и $r = 8 - 1 = 7$ находим $P_r = 0,5$. Эта величина малой не является ($P_r > 0,1$) и, следовательно, гипотезу о том, что отказы распределены по экспоненциальному закону, можно считать правдоподобной.

4.4. КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ

Контроль надежности имеет своей целью проверить гипотезу о том, что надежность не ниже установленного уровня. При этом конечным результатом, как правило, является одно из двух решений: принять партию, считая надежность аппаратуры удовлетворительной, или забраковать контролируемую партию аппаратуры как ненадежную. Так как контроль надежности проводится на основе испытаний определенной выборки, то при принятии решений возможны два вида ошибок:

ошибка первого рода — когда хорошая партия бракуется;



ошибка второго рода – когда плохая партия принимается.

Вероятность ошибки первого рода называется риском изготовителя и обозначается буквой α . Вероятность ошибки второго рода называется риском потребителя и обозначается буквой β .

Существует три основных метода контроля надежности: метод однократной выборки (одиночный контроль); метод двукратной выборки (двойной контроль); последовательный метод.

Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки и может быть использован в том или ином конкретном случае.

Наибольшее распространение в практике контроля надежности получили одиночный и последовательный методы. Это объясняется тем, что метод двойного контроля требует большего времени контроля и более сложных расчетов.

Самым экономичным методом контроля надежности является последовательный. Поэтому при испытаниях опытной аппаратуры предпочтительнее метод последовательного анализа. Метод однократной выборки обычно используется для испытаний серийных образцов.

Совокупность условий испытаний контролируемых изделий и правил принятия решения называется планом контроля. Под совокупностью условий испытаний понимаются условия браковки и приемки, заданные значения α и β , объем испытаний и т.д. Правила принятия решений определяются методами контроля. Так как число сочетаний различных условий испытаний и правил принятия решения может быть значительным, то и количество различных планов велико.

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

При контроле числа дефектных изделий партия признается надежной, если число дефектных изделий (количество отказов) n_k меньше или равно n_0 , т.е.

$$n_k \leq n_0, \quad (4.34)$$

где n_0 – оценочный норматив.

Если

$$n_k > n_0, \quad (4.35)$$

то партия бракуется.

При контроле средней наработки на отказ \bar{T}_0 (контроле по наработке) необходимо так установить суммарное время испытаний t_Σ (суммарную наработку изделий выборки N) и оценочный норматив T_k , чтобы обеспечивались заданные риски α и β .

Оценочный норматив устанавливается так, что при

$$\bar{T}_0 = t_\Sigma / n_k \geq T_k \quad (4.36)$$

результаты испытаний оцениваются как удовлетворительные, а при

$$\bar{T}_0 = t_{\Sigma} / n_k < T_k \quad (4.37)$$

результаты испытаний оцениваются как неудовлетворительные (партия бракуется):

Длительность этапа испытаний t_n при выбранном объеме выборки N будет

$$t_n = t_{\Sigma} / N. \quad (4.38)$$

В дальнейшем рассмотрим только контроль по наработке. Обозначим вероятность отказа аппаратуры за время t_n , при которой она признается надежной, через q_1 , а вероятность отказа, при которой аппаратура бракуется, через q_2 . Среднюю наработку на отказ надежной партии обозначим через T_{01} , а ненадежной партии — через T_{02} . Кроме этого введем обозначения

$$\gamma_1 = T_k / T_{01}; \quad (4.39)$$

$$\gamma_2 = T_k / T_{02}. \quad (4.40)$$

Для контроля надежности по методу однократной выборки при выполнении условий $N \leq 0,1 N_0$ и $q_1 \leq 0,1$ можно пользоваться распределением Пуассона, тогда

$$\bar{\alpha} = \sum_{d=n_0+1}^{\infty} (a_1^d / d!) e^{-a_1}; \quad (4.41)$$

$$\bar{\beta} = 1 - \sum_{d=n_0}^{\infty} (a_2^d / d!) e^{-a_2}, \quad (4.42)$$

где $\bar{\alpha}$ — риск изготовителя, близкий к заданному α ; $\bar{\beta}$ — риск потребителя, близкий к заданному β .

$$a_1 = t_{\Sigma} / T_{01} = q_1 N; \quad a_2 = t_{\Sigma} / T_{02} = q_2 N; \quad d = n_k. \quad (4.43)$$

Найдем отношение

$$\gamma_0 = a_1 / a_2 = T_{02} / T_{01} = q_1 / q_2. \quad (4.44)$$

Удобными таблицами для контроля надежности, основанного на распределении Пуассона, являются табл. 7 и 8 приложения. С помощью этих таблиц при заданных N , α , β , T_{01} и T_{02} можно определить длительность испытаний t_n , значения a_1 , γ_1 , оценочные нормативы n_0 и T_k . При этом можно определить объем выборки N , если заданы α , β , q_1 и q_2 .

В табл. 8 приложения нет значений a_2 и γ_2 , но при $\alpha = \beta$ их можно определить из выражений $a_2 = a_1 / \gamma_0$; $\gamma_2 = \gamma_1 / \gamma_0$.

Пример 4.11. Из большой партии изделий взята выборка $N = 95$ изделий. Заданы $\alpha = \beta = 0,1$; $T_{01} = 10000$ ч; $T_{02} = 5000$ ч. Требуется найти длительность испытаний t_n и оценочный норматив T_k .

Решение. 1. По формуле (4.44) находим

$$\gamma_0 = 5000/10000 = 0,5.$$

2. Из табл. 7 приложения для $\alpha = \beta = 0,1$ и $\gamma_0 = 0,5$ находим $n_0 = 13$.

3. Из табл. 8 приложения при $\alpha = 0,1$ и $n_0 = 13$ определяем $a_1 = 9,5, \gamma_1 = 0,73$.

4. С применением формул (4.43), (4.38) и (4.39) получаем

$$t_{\Sigma} = a_1 T_{01} = 9,5 \cdot 10^4 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{и}} = t_{\Sigma}/N = 9,5 \cdot 10^4/95 = 1000 \text{ ч.}$$

$$T_{\text{к}} = \gamma_1 T_{01} = 0,73 \cdot 10^4 = 7,3 \cdot 10^3 \text{ ч.}$$

Пример 4.12. При контроле надежности аппаратуры установлены значения $\alpha = \beta = 0,05$ и вероятности отказа $q_1 = 0,1, q_2 = 0,2$. Требуется определить объем выборки N .

Решение. 1. По формуле (4.44) рассчитываем $\gamma_0 = q_1/q_2 = 0,5$ и по табл. 7 приложения при $\alpha = \beta = 0,05$ и $\gamma_0 = 0,5$ находим $n_0 = 22$.

2. По табл. 8 приложения определяем $a_1 = 16$, тогда в соответствии с выражениями (4.43) $N = a_1/q_1 = 16/0,1 = 160$.

Пример 4.13. Для контроля надежности магнитофонов в интересах потребителя из партии в $N_0 = 1000$ шт. извлечена выборка $N = 75$ шт. Установлены $\alpha = \beta = 0,1$ и оценочный норматив $n_0 = 10$. Определить верхнее значение вероятности отказа q_2 в случае приемки партии.

Решение. 1. По табл. 7 приложения по известным n_0, α и β определяем $\gamma_0 = 0,45$.

2. По табл. 8 приложения при $\alpha = 0,1$ и $n_0 = 10$ находим $a_1 = 7$, тогда $a_2 = a_1/\gamma_0 = 7/0,45 = 15,55$.

3. $q_2 = a_2/N = 15,55/75 = 0,2$.

Метод последовательного анализа. Последовательный метод контроля не предусматривает предварительного объема выборки. Информа-

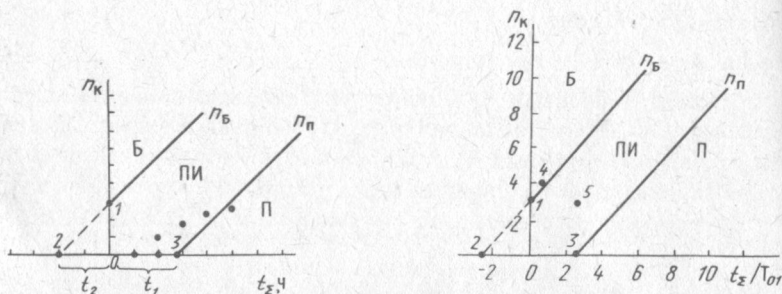


Рис. 4.5. График контроля по методу последовательного анализа:

Б — принимается решение о браковке; ПИ — продолжают испытания; П — принимается решение о приемке

Рис. 4.6. График последовательного контроля

ция о надежности испытуемых устройств накапливается при последовательном, возрастающем объеме испытаний.

Последовательный контроль надежности по наработке осуществляется в соответствии с правилами:

партия принимается, если

$$t_{\Sigma} \geq t_1 + n_K t_K; \quad (4.45)$$

партия бракуется, если

$$t_{\Sigma} \leq t_2 + n_K t_K; \quad (4.46)$$

испытания продолжаются, если

$$t_2 + n_K t_K < t_{\Sigma} < t_1 + n_K t_K, \quad (4.47)$$

где n_K — количество отказов в рабочих точках графика последовательного контроля наработки;

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= -2,303 (\lg B) (T_{01} T_{02}) (T_{01} - T_{02}); \\ t_2 &= -2,303 (\lg A) (T_{01} T_{02}) / (T_{01} - T_{02}); \\ t_3 &= 2,303 [\lg (T_{01}/T_{02})] (T_{01} T_{02}) / (T_{01} - T_{02}); \end{aligned} \right\} \quad (4.48)$$

$$A = (1 - \beta)/\alpha; \quad B = \beta/(1 - \alpha). \quad (4.49)$$

График последовательного контроля наработки изображен на рис. 4.5. Рабочими точками графика являются:

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ т. } n_K &= -t_2/t_K; \quad t_{\Sigma} = 0; \\ 2 \text{ т. } n_K &= 0; \quad t_{\Sigma} = -t_2; \\ 3 \text{ т. } n_K &= 0; \quad t_{\Sigma} = t_1. \end{aligned} \right\} \quad (4.50)$$

Если $\alpha = \beta$, то $|t_1| = |t_2|$.

Прямые n_B и n_{II} разделяют плоскость на три зоны: браковки (B), приемки (II) и продолжения испытаний (III).

Из уравнений (4.45) и (4.46) видно, что прямые n_B и n_{II} всегда параллельны, так как их угловые коэффициенты одинаковы и равны $n_K t_K$.

Для контроля по методу последовательного анализа необходимо на построенном графике откладывать опытные точки, полученные в процессе испытаний. Когда опытные точки выйдут из зоны продолжения испытаний (III), испытания заканчиваются. На рис. 4.5 точками изображен случай, когда испытания закончились приемкой партии аппаратуры.

Пример 4.14. Рассмотрим контроль надежности изделий в условиях примера 4.11 методом последовательного анализа.

Решение. Определяем константы плана по формулам (4.48) и (4.49).

$$A = \frac{1 - 0,1}{0,1} = 9; \quad B = \frac{0,1}{1 - 0,1} = 0,11;$$

Таблица 4.11

n_K	0	1	2	3	4	5	6	7
$t_{\Sigma \text{пр}}/T_{01}$, не менее	2,2	2,89	3,58	4,27	4,96	5,65	6,34	7,03
$t_{\Sigma \text{бр}}/T_{01}$, не более	-	-	-	-	0,56	1,25	1,94	2,63

$$t_1 = -2,303 \frac{(\lg 0,11) (10^4 \cdot 5 \cdot 10^3) \text{ ч}^2}{10000 - 5000 \text{ ч}} =$$

$$= -2,303 \frac{(-0,96) 5 \cdot 10^7 \text{ ч}^2}{5 \cdot 10^3 \text{ ч}} = 2,2 \cdot 10^4 \text{ ч};$$

$$t_2 = -2,303 \frac{(\lg 9) 5 \cdot 10^7 \text{ ч}^2}{5 \cdot 10^3 \text{ ч}} = -2,303 \cdot 0,954 \cdot 10^4 \text{ ч} = -2,2 \cdot 10^4 \text{ ч};$$

$$t_K = 2,303 \frac{(\lg 2) 5 \cdot 10^7 \text{ ч}^2}{5 \cdot 10^3 \text{ ч}} = 2,303 \cdot 0,3 \cdot 10^4 \text{ ч} = 6,9 \cdot 10^3 \text{ ч}.$$

Таблицу плана вычисляем с применением формул (4.45) и (4.46).

$$t_{\Sigma \text{пр}} = t_1 + n_K t_K = 2,2 \cdot 10^4 + n_K \cdot 6,9 \cdot 10^3;$$

$$t_{\Sigma \text{бр}} = t_2 + n_K t_K = -2,2 \cdot 10^4 + n_K \cdot 6,9 \cdot 10^3.$$

Расчитанные значения t_{Σ} , выраженные в величинах, кратных T_{01} , для различных n_K (ограничимся $n_K = 7$) заносим в табл. 4.11.

График контроля (рис. 4.6) можно построить с помощью табл. 4.11 или по трем рабочим точкам:

$$1 \text{ т. } n_K = 2,2 \cdot 10^4 / 0,69 \cdot 10^4 = 3,2; \quad t_{\Sigma} = 0;$$

$$2 \text{ т. } n_K = 0; \quad t_{\Sigma \text{бр}} = -2,2 T_{01};$$

$$3 \text{ т. } n_K = 0; \quad t_{\Sigma \text{пр}} = 2,2 T_{01}.$$

Из графика и табл. 4.11 видно, что принимается решение о браковке партии, если $n_K = 4$ и $t_{\Sigma} = 0,56 T_{01}$ (точка 4). Если рабочая точка имеет положение $n_K = 3$ и $t_{\Sigma} = 2,2 T_{01}$ (точка 5), то испытания нужно продолжить. Рабочей точке $n_K = 0$, $t_{\Sigma} = 2,2 T_{01}$ (точка 3) соответствует решение о приемке контролируемой партии. Из рисунка видно, что наименьшее время испытаний для приемки изделий с требуемой точностью ($\gamma_0 = 0,5$) $t_{\Sigma} = 2,2 T_{01}$, т.е. $t_{\Sigma} = 2,2 \cdot 10^4$ ч. По способу однократной выборки суммарное время испытаний $t_{\Sigma} = 9,5 \cdot 10^4$ ч (см. пример 4.11). Это указывает на то, что метод последовательного анализа является самым экономичным методом контроля. Недостатком этого метода является то, что заранее не фиксируется объем испытаний, что затрудняет планирование испытаний, так как заранее неизвестно, когда они закончатся. Этот недостаток можно устранить путем контро-

ля по методу усеченного последовательного анализа, суть которого заключается в следующем:

испытания планируют по методу однократной выборки, согласно которому выбирается максимальное число испытуемых изделий N_K ; испытания вначале ведут по методу последовательного анализа, в соответствии с правилами которого производится оценка результатов испытаний;

если испытания по методу последовательного анализа не закончились при $N \leq N_K$, то при $N = N_K$ проводится оценка результатов испытаний по методу однократной выборки.

Поясним это на примере 4.11. По методу однократной выборки в условиях этого примера должно быть $N = 95$, а $n_0 = 13$. Поэтому в усеченном последовательном методе планируем объем испытаний до $N = 95$.

Испытания ведем последовательно (при $N = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40$ и т.д.) и оцениваем их при помощи уравнений примера 4.13 или рис. 4.6. Если испытания не заканчиваются до $N = 95$, то при $N = 95$ оцениваем результат испытаний по методу однократной выборки. Если $n_K \leq 13$, то партия изделий принимается, если $n_K > 13$, то она бракуется.

Таким образом, порядок подготовки и проведения усеченного последовательного контроля состоит в следующем.

1. При известном значении средней наработки на отказ \bar{T}_0 выбираем t_K из условия

$$0,1 \bar{T}_0 \leq t_K \leq 0,2 \bar{T}_0 \quad (4.51)$$

2. Выбираем $\gamma_0 = T_{02}/T_{01}$ и рассчитываем ошибку оценки средней наработки на отказ T_0

$$\xi_0 = (1 - \gamma_0)/(1 + \gamma_0). \quad (4.52)$$

Ниже приведены значения коэффициента γ_0 и соответствующие ему ошибки оценки \bar{T}_0 в процентах.

γ_0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\xi_0 \cdot 100\%$	80	66	54	42	33	25	17	11	5

3. При выбранных γ_0 и ξ_0 найдем

$$T_{01} = (1 + \xi_0) \bar{T}_0; T_{02} = T_{01} \gamma_0. \quad (4.53)$$

4. Задаемся значениями α и β .

5. Из табл. 7 приложения для выбранных значений α, β и γ_0 находим n_0 .

6. Из табл. 8 приложения при заданном α и найденном n_0 определяем a_1 и γ_1 .

7. С применением формулы (4.43) получим $t_\Sigma = a_1 T_{01}$.

8. С помощью выражения (4.38) определяем объем выборки:

$$N = t_\Sigma / t_K.$$

9. По формулам (4.48) и (4.49) находим A, B, t_1, t_2, t_k .

10. Вычисляем с применением неравенств (4.45) и (4.46) значения $t_{\Sigma \text{ пр}}$ и $t_{\Sigma \text{ бр}}$ для различных n_k и заносим их в таблицу, аналогичную табл. 4.11. Расчет $t_{\Sigma \text{ пр}}$ и $t_{\Sigma \text{ бр}}$ ведется для значений n_k , изменяющихся от 0 до n_0 ($0 \leq n_k \leq n_0$).

11. По данным таблицы строим график плана усеченного контроля.

12. По таблице и построенному графику принимается решение о результатах испытаний.

Пример 4.15. По результатам испытаний с применением усеченного последовательного метода определить соответствие испытуемой модели цветного телевизора установленным в ТУ значениям наработки на отказ T_0 , если $T_0 = 10\,200$ ч, $\alpha = \beta = 0,1$, а ошибка оценки T_0 не должна превышать 35% ($\xi_0 \leq 0,35$).

Решение. 1. Выбираем t_n из условия (4.51):

$$1020 \text{ ч} \leq t_n \leq 2040 \text{ ч.}$$

Принимаем $t_n = 1500$ ч.

2. Выбираем $\gamma_0 = T_{02}/T_{01} = 0,5$, тогда $\xi_0 = (1 - 0,5)/(1 + 0,5) = 0,33 < 0,35$. Следовательно, $T_{01} = (1 + 0,33) 10200 = 13560$ ч; $T_{02} = 13560 \cdot 0,5 = 6780$ ч.

3. Из табл. 7 приложения для $\alpha = \beta = 0,1$ и $\gamma_0 = 0,5$ находим $n_0 = 13$.

4. Из табл. 8 приложения при $\alpha = 0,1$ и $n_0 = 13$ получим $a_1 = 9,5$, $\gamma_1 = 0,73$.

5. С использованием выражения (4.43) имеем

$$t_{\Sigma} = 9,5 \cdot 13560 = 128\,820 \text{ ч.}$$

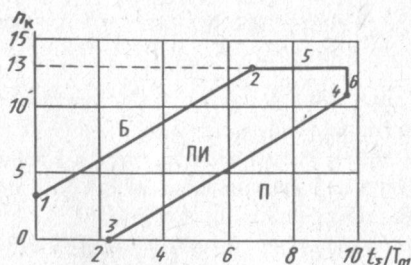
Следовательно, $N = t_{\Sigma}/t_n = 128\,820/1500 \approx 86$.

6. Из выражений (4.48) и (4.49) определяем константы плана контроля:

Таблица 4.12

Число отказов n_k	Время испытаний, кратное T_{01}		Число отказов n_k	Время испытаний, кратное T_{01}	
	бракуется, если $t_{\Sigma \text{ бр}}$ не более	принимается, если $t_{\Sigma \text{ пр}}$ не менее		бракуется, если $t_{\Sigma \text{ бр}}$ не более	принимается, если $t_{\Sigma \text{ пр}}$ не менее
0	—	2,21	7	2,62	7,04
1	—	2,9	8	3,31	7,73
2	—	3,59	9	4,01	8,42
3	—	4,28	10	4,69	9,11
4	0,55	4,97	11	5,38	9,8
5	1,24	5,66	12	6,07	9,8
6	1,93	6,35	13	6,76	9,8

Рис. 4.7. График усеченного последовательного контроля



$$A = \frac{1 - 0,1}{0,1} = 9; \quad B = \frac{0,1}{1 - 0,1} = 0,11;$$

$$t_1 = -2,303 \frac{\lg 0,11 \cdot 91,9 \cdot 10^6}{6,78 \cdot 10^3} = -2,303 (-0,96) 13,5 \cdot 10^3 = 29960 \text{ ч.}$$

$$t_2 = -2,303 \frac{\lg 9 \cdot 91,9 \cdot 10^6}{6,78 \cdot 10^3} = -2,303 \cdot 0,954 \cdot 13,5 \cdot 10^3 = -29960 \text{ ч.}$$

$$t_K = 2,303 \frac{\lg 2 \cdot 91,9 \cdot 10^6}{6,78 \cdot 10^3} = 2,303 \cdot 0,3 \cdot 13,5 \cdot 10^3 = 9360 \text{ ч.}$$

7. Находим $t_{\Sigma \text{ пр}}$ и $t_{\Sigma \text{ бр}}$ по формулам (4.45) и (4.46). Результаты заносим в табл. 4.12 для $0 \leq n_K \leq 13$.

Так как величина t_{Σ} ограничена значением 128820 ч ($9,5 T_{01}$), а $n_K \leq 13$, то в табл. 4.12 при $n_K \geq 11$ стоят одни и те же значения t_{Σ} (кратные T_{01}).

8. По данным табл. 4.12 строим график плана усеченного контроля (рис. 4.7). Рабочими точками плана являются:

- 1 т. $n_K = 3,2; \quad t_{\Sigma} = 0;$
- 2 т. $n_K = 13; \quad t_{\Sigma \text{ бр}} = 6,76 T_{01};$
- 3 т. $n_K = 0; \quad t_{\Sigma \text{ пр}} = 2,21 T_{01};$
- 4 т. $n_K = 11; \quad t_{\Sigma \text{ пр}} = 9,8 T_{01}.$

Из приведенного графика видно, что телевизоры удовлетворяют требованиям ТУ по показателю T_0 , если реализация процесса отказов достигает нижней наклонной линии 3–4 до истечения установленного времени испытаний t_{Σ} , а также, если число отказов аппаратуры за время t_{Σ} достигает вертикальной линии 6.

Телевизоры не удовлетворяют требованиям, если реализация процесса отказов достигает верхней наклонной линии 1–2 до истечения установленного времени t_{Σ} , или горизонтальной линии 5.

Аппаратура всегда бракуется, если число отказов n_K равно или больше 14.

Минимальное время испытаний может составить $2,21 T_{01}/N$, или около 350 ч.

4.5. ИСПЫТАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ БЫТОВОЙ РЭА

Повышение качества, комфортных характеристик и функциональных возможностей разрабатываемой бытовой РЭА, ведет к росту ее сложности и, следовательно, к увеличению требований к надежности аппаратуры. Высокая надежность бытовой РЭА является одним из основных показателей ее качества.

Требования к надежности бытовой РЭА изложены в ТУ. Нормируемым показателем безотказности является наработка на отказ T_0 . Требования по безотказности для различных видов аппаратуры приведены в табл. 4.13—4.15 [35].

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

Испытания на надежность изделий опытной партии производит предприятие-разработчик при участии завода-изготовителя. В процессе

Таблица 4.13

Вид телевизора	Наработка на отказ T_0 , ч, для телевизоров	
	стационарных	переносных
Телевизоры цветного изображения	10 200	8000
Телевизоры черно-белого изображения	11 250	8650

Таблица 4.14

Вид магнитофона	Наработка на отказ T_0 , ч, при группе сложности	
	0 и 1	2, 3 и 4
Магнитофоны	5000	4200
Видеомагнитофоны	5000	—

Таблица 4.15

Вид радиоприемника	Наработка на отказ T_0 , ч, при группе сложности			
	0	1	2	3 и 4
Стационарный	11 000	9150	5500	4500
Переносной	9150	9150	5500	4500
Автомобильный	7800	6800	4500	—

испытаний на надежность изделий опытной партии (образцов) оценивают безотказность и ремонтпригодность. В качестве показателей безотказности аппаратуры принимается наработка на отказ \bar{T}_0 .

В качестве показателя ремонтпригодности аппаратуры принимается средняя оперативная продолжительность текущего ремонта $\bar{T}_{т.р.}$. Расчет ремонтпригодности рассматривается в гл. 5.

Испытания на надежность изделия установочной серии и серийного производства проводит предприятие-изготовитель не реже двух раз в год в течение первого года выпуска, а в дальнейшем — не реже одного раза в год.

При планировании испытаний на безотказность при оценке средней наработки на отказ T_0 принимают риск изготовителя α и риск потребителя β одинаковыми и равными 0,1 — 0,2.

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

Испытания телевизоров установочной серии и серийного производства, а также испытания радиоаппаратуры, магнитофонов и видеомагнитофонов проводят по методу однократной выборки, объем выборки $N = 50$ шт.

Оценку средней наработки на отказ T_0 проводят по результатам электропрогона. Длительность электропрогона берется:

для магнитофонов и видеомагнитофонов — 500 ч;

для радиоприемной аппаратуры — 750 ч;

для опытных образцов телевизоров — 750 ч;

для телевизоров серийного производства при $T_0 \leq 7500$ ч — 1500 ч;

при $T_0 > 7500$ ч — 2250 ч.

Значения n_0 приведены в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Наработка на отказ T_0 , ч	Предельное число отказов при длительности прогона, ч			
	500	750	1500	2250
4150	7	10	—	—
4690	6	9	—	—
5350	5	8	15	—
5750	5	8	14	—
6250	5	7	13	—
6800	4	7	12	—
7500	4	6	11	—
8000	—	6	—	15
8650	—	6	—	14
9350	—	5	—	13
10200	—	5	—	12
11250	—	5	—	11
12500	—	4	—	10
14000	—	4	—	9
18750	—	3	—	7

В начале и конце каждого цикла электропрогона не менее пяти раз проверяется работоспособность всех органов управления и кинематических узлов. Кроме того, обязательно проводится проверка работы каждого изделия при различных уровнях громкости.

Электропрогон радиоприемной аппаратуры, имеющей тракты амплитудной и частотной модуляции, 70% времени проводят по тракту амплитудной и 30% — по тракту частотной модуляции.

Для автомобильно-переносных приемников 70% времени электропрогона проводят в автомобильном режиме работы и 30% — в переносном.

Электропрогон радиол, магниторадиол и магнитол проводят в различных режимах:

для радиол и магнитол 70% времени — в режиме приема сигналов радиостанции и 30% — в режимах работы электропроигрывающего устройства или магнитофонной панели соответственно;

для магниторадиол 60% времени — в режиме приема сигналов, 20% — в режиме работы электропроигрывающего устройства и 20% — в режиме работы магнитофонной панели;

для радиол и магниторадиол — в режиме работы ЭПУ для различных скоростей вращения пластинки.

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

Каждый испытательный цикл должен предусматривать:

наработку при максимальном, номинальном и минимальном напряжении питания;

наработку в контролируемых функциональных режимах (воспроизведение не менее 50% цикла, запись не менее 25% цикла, остальные режимы — не более 25%);

Испытания видеомагнитофонов проводят с 10-часовыми циклами наработки. После каждых 10 ч электропрогона видеомагнитофон отключают не менее чем на 1 ч.

Электропрогон телевизоров проводится при подаче на вход соответствующего испытательного сигнала (для телевизоров цветного изображения — сигнала цветového изображения).

В течение 7-часового цикла подаются напряжения питания следующей последовательности:

номинальное — 3 ч 25 мин;

минимально допустимое — 1 ч 10 мин;

максимально допустимое — 2 ч 15 мин.

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

Во время электропрогона визуально проверяют качество звучания и изображения на экране телевизора, устойчивость синхронизации, работу органов управления. В телевизорах цветного изображения проверяют автоматическое включение канала цветности.

По окончании электропрогона в телевизорах проверяют:
 чувствительность каналов изображения и звукового;
 нелинейные искажения раstra по вертикали и горизонтали;
 нестабильность размеров изображения от изменения напряжения
 питания;

разрешающую способность по вертикали и горизонтали.

Для телевизоров цветного изображения, кроме указанных параметров, проверяют:

неоднородность цветности и свечения по полю экрана;

погрешность сведения лучей;

отклонение цветности белого света свечения экрана от цветности опорного белого при статическом и динамическом балансах;

автоматическое включение накала цветности при приеме передач черно-белого изображения;

сохранение устойчивости цветовой синхронизации.

Основными документами при проведении испытаний на надежность являются государственные стандарты, технические условия, программа и методики испытаний. Отчетной документацией при проведении испытаний являются журналы учета результатов испытаний на надежность, протоколы испытаний или отчеты о надежности.

Формы журнала учета результатов испытаний приведены в табл. 4.17.

В период гарантийного срока эксплуатации бытовой РЭА один раз в квартал в ремонтных предприятиях составляются отчеты (табл. 4.18), которые высылаются на заводы-изготовители.

Таблица 4.17

Форма 1

Данные об аппаратуре

Условный номер аппаратуры на время испытаний	Номер аппаратуры по системе нумерации предприятия-изготовителя	Дата проведения	Номер (шифр) окончательной приемки службой технического контроля

Форма 2

Данные испытаний на прочность и виброустойчивость

Номер отказа	Внешнее проявление отказа	Причины отказа, наименование отказавшего элемента и обозначение его по принципиальной схеме	Вид отказа	Подпись проводившего испытания	Подпись проводившего анализ причин отказа

Данные измерений параметров аппаратуры

Номер аппаратуры	Наименование измеряемого параметра	Результаты измерений				Норма по технической документации	Оценка соответствия полученного результата требованиям	
		перед электропрогоном	за время электропрогона, ч					по окончании электропрогона
			через 150	через 400	в различных режимах с указанием наработки до момента измерения			

Таблица 4.18

Отчет

о надежности _____

за " " квартал 19 ____ г.

1. Общее количество отказов

Количество контрольных аппаратов	Из них отказано	Общее количество отказов	Количество технических обслуживаний

2. Отказы контрольных аппаратов

Наименование элементов и номер элемента по схеме	Количество отказов				
	на 1-м месяце	на 2-м месяце	на 3-6-м месяцах	на 7-12-м месяцах	Всего

После окончания гарантийного срока обслуживания бытовой РЭА в ТТЦ (ТЦ), к сожалению, не ведется сбора статистических данных по надежности, хотя первичная обработка данных на этом этапе эксплуатации необходима и имеет большое практическое значение.

4.6. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

4.6.1. По данным эксплуатации приемника получено 60 значений наработки на отказ, результаты наблюдений сведены в статистический ряд с $\Delta t_i = 100$ ч.

Δt_i , ч 0-100 100-200 200-300 300-400 400-500 500-600 600-∞

n_i 9 7 5 3 2 3 3

Требуется проверить гипотезу об экспоненциальном распределении отказов, используя критерий Колмогорова.

О т в е т. $\Delta_r = 0,1 \sqrt{60} = 0,77 < 1$, следовательно, принятая гипотеза верна.

4.6.2. В результате испытаний радиоэлектронного устройства получено 42 значения наработки на отказ, по которым построен вариационный ряд (табл. 4.19).

Т а б л и ц а 4.19

Номер отказа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T_0 , ч	15	24	28	37	49	54	60	75	87	92	93	111	114	121
Номер отказа	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
T_0 , ч	127	130	135	138	140	144	147	149	155	168	170	173	189	192
Номер отказа	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
T_0 , ч	197	198	201	204	225	231	243	248	249	256	265	274	281	297

Требуется по данным табл. 4.18 построить статистический ряд с $\Delta t_i = 50$ ч и проверить гипотезу об экспоненциальном распределении времени наработки на отказ с использованием критерия χ^2 -Пирсона.

О т в е т. $P_r = 0,007 < 0,1$, откуда следует, что гипотезу об экспоненциальном распределении времени безотказной работы нельзя считать правдоподобной.

4.6.3. В условиях задачи 4.6.2 проверить гипотезу об усеченном нормальном законе распределения наработки на отказ по критерию χ^2 -Пирсона.

О т в е т. $P_r = 0,75$, следовательно, экспериментальные данные не противоречат гипотезе об усеченном нормальном распределении времени наработки на отказ.

4.6.4. В результате испытаний 15 экземпляров полупроводниковых приборов были получены следующие значения наработки в часах:

252, 275, 287, 294, 303, 327, 331, 355, 364, 389, 403, 425, 433, 481, 510. Определить оценку средней наработки на отказ, среднеквадратическое значение $\bar{\sigma}_T$ и доверительный интервал для \bar{T}_0 с вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$, если отказы распределены по нормальному закону.

О т в е т. $\bar{T}_0 = 362$ ч; $\bar{\sigma}_T = 69$ ч; $T_{0H} = 324,7$ ч; $T_{0B} = 399,3$ ч; $I_\epsilon = 324,7 - 399,3$ ч.

4.6.5. При испытаниях $N = 100$ устройств в течение времени $t_H = 500$ ч не зарегистрировано ни одного отказа. Определить верхнюю доверительную границу интенсивности отказов λ_B с вероятностью $P(\epsilon) = 0,9$.

О т в е т. $\lambda_B = 4,6 \cdot 10^{-5}$ ч⁻¹.

4.6.6. При испытаниях $N = 200$ приборов в течение времени $t_H = 300$ ч зарегистрировано 10 отказов. Отказавшие устройства мгновенно заменяются исправными. Определить оценку интенсивности отказов и доверительный интервал для λ с $P(\epsilon) = 0,99$ при экспоненциальном законе распределения отказов.

О т в е т. $\bar{\lambda} = 1,67 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; $\lambda_H = 0,69 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹;

$\lambda_B = 3 \cdot 15 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹;

$I_\epsilon = 0,69 \cdot 10^{-4} - 3,15 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹.

4.6.7. За время испытаний $t_H = 1000$ ч, $N = 30$ образцов ремонтируемой аппаратуры было зарегистрировано $n = 66$ отказов. Определить оценку λ и ее доверительные границы с $P(\epsilon) = 0,9$, если распределение отказов аппаратуры экспоненциальное.

О т в е т. $\bar{\lambda} = 2,2 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹; $\lambda_H = 1,86 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹;

$\lambda_B = 2,55 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹.

4.6.8. При испытаниях $N = 40$ образцов однотипной контрольно-измерительной аппаратуры в течение $t_H = 600$ ч зарегистрировано $n = 15$ отказов. Определить доверительные границы для интенсивности отказов λ при распределении Пуассона с доверительной вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$.

О т в е т. $\lambda_H = 3,86 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹; $\lambda_B = 9,19 \cdot 10^{-4}$ ч⁻¹.

4.6.9. На испытания поставлено $N = 120$ ремонтируемых объектов, средняя наработка на отказ каждого из которых $T_0 = 4000$ ч. Определить время испытаний и доверительные границы для оценки T_0 объекта с ошибкой не более 25% при доверительной вероятности $P(\epsilon) = 0,9$.

О т в е т. $t_H = 1180$ ч; $T_{0H} = 3280$ ч; $T_{0B} = 5000$ ч.

4.6.10. Определить объем выборки N для оценки наработки на отказ магнитофонов с ошибкой не более 35% при доверительной вероятности $P(\epsilon) = 0,95$, если задана средняя наработка на отказ $\bar{T}_0 = 5000$ ч, а длительность испытаний $t_H = 1750$ ч.

О т в е т. $N = 100$ шт.

4.6.11. Для контроля надежности в интересах потребителя выделена выборка объемом $N = 50$ приборов. Установлены значения $\alpha = \beta = 0,05$

и оценочный норматив $n_0 = 3$. Определить верхнее значение вероятности отказа q_2 в случае приемки партии при $n_k = 2$.

О т в е т. $q_2 = 0,15$.

4.6.12. Для выходного контроля надежности заводской радиоэлектронной продукции взята выборка $N = 100$ экземпляров. Изделия считаются надежными при $q_1 = 0,05$. Найти приемочное число n_0 с риском изготовителя $\alpha = 0,1$.

О т в е т. $n_0 = 8$.

4.6.13. Определить объем выборки N , необходимый для осуществления контроля надежности радиоприборов по методу однократной выборки. Установлены следующие параметры контроля: приемочное число $n_0 = 5$; риск изготовителя $\alpha = 0,1$; риск потребителя $\beta = 0,2$; вероятность отказа $q_1 = 0,04$.

О т в е т. $N = 80$.

4.6.14. Надежность радиоприемников, выпускаемых большой серией, считается высокой при $T_{01} = 5000$ ч и низкой при $T_{02} = 1000$ ч. Риск потребителя и изготовителя составляет $\alpha = \beta = 0,05$. Рассчитать последовательный план контроля надежности приемников и представить его в табличной и графической формах до $N = n_k = 10$. Принять решение для трех рабочих точек:

1. $n_k = 0$; $t_\Sigma = 5000$ ч.

2. $n_k = 1$; $t_\Sigma = 5000$ ч.

3. $n_k = 2$; $t_\Sigma = 300$ ч.

О т в е т. Рабочей точке $n_k = 0$; $t_\Sigma = 5000$ ч соответствует решение о приемке партии радиоприемников. Для рабочей точки $n_k = 1$; $t_\Sigma = 5000$ ч испытания нужно продолжить. При $n_k = 2$ и $t_\Sigma = 300$ ч принимается решение о браковке.

4.6.15. Из общей партии магнитофонов взята выборка $N = 50$ изделий. Заданы $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,2$; $T_{01} = 4000$ ч, $T_{02} = 2400$ ч. Требуется найти длительность испытаний t_n и оценочный норматив T_k при однократном методе контроля надежности.

О т в е т. $t_n = 1040$ ч; $T_k = 3020$ ч.

4.6.16. По результатам испытаний с применением усеченного последовательного метода принять решение о соответствии испытываемой партии телевизоров, установленным в технических условиях значениям наработки на отказ $\bar{T}_0 = 8000$ ч. Риски изготовителя и потребителя одинаковы и равны $\alpha = \beta = 0,1$. Ошибка оценки T_0 не должна превышать 25% при времени испытаний $t_n = 1400$ ч. Результаты представить в табличной и графической формах. Принять решение для трех рабочих точек:

1. $n_k = 5$; $t_\Sigma = 5 \cdot 10^3$ ч;

2. $n_k = 3$; $t_\Sigma = 3,3 \cdot 10^4$ ч;

3. $n_k = 0$; $t_\Sigma = 3,3 \cdot 10^4$ ч.

О т в е т. $N = 135$ шт.; $n_0 = 24$. Рабочей точке ($n_k = 5$; $t_{\Sigma} = 5 \cdot 10^3$ ч) соответствует решение о браковке партии. Для рабочей точки ($n_k = 3$; $t_{\Sigma} = 3,3 \cdot 10^4$ ч) испытания нужно продолжить. При $n_k = 0$ и $t_{\Sigma} = 3,3 \cdot 10^4$ ч принимается решение о приемке партии.

Р а з д е л II. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ БЫТОВОЙ РЭА

Г л а в а 5. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ РЭА

5.1. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ АППАРАТУРЫ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НЕЕ

Под ремонтпригодностью понимают свойство РЭА, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонта.

Основными показателями ремонтпригодности бытовой РЭА являются средняя продолжительность текущего ремонта $\bar{T}_{Т.р}$ и средняя продолжительность технического обслуживания $\bar{T}_{Т.о}$.

В данной главе рассматривается только один основной показатель — $T_{Т.р}$, другой показатель будет рассмотрен в следующей главе.

В современной РЭА рост количества комплектующих элементов опережает рост их безотказной работы, что приводит к уменьшению среднего времени безотказной работы и увеличению времени вынужденного простоя аппаратуры. Поэтому приходится уделять особое внимание ремонтпригодности как одной из наиболее трудных проблем обеспечения надежности РЭА.

Ранее описывалось, что надежность РЭА наиболее полно определяется безотказностью и ремонтпригодностью.

$$K_T = T_0 / (T_0 + T_{Т.р}).$$

Безотказность характеризуется закономерностями появления отказов, а ремонтпригодность — закономерностями их предупреждения и устранения. Ремонтпригодность, так же как и безотказность, зависит от организации эксплуатации и от свойств аппаратуры.

Низкая ремонтпригодность РЭА снижает коэффициенты готовности и технического использования, а также приводит к большим расходам на ее обслуживание. Поэтому возникают проблемы: как достичь заданной наработки на отказ? Какой путь наиболее экономичный? Нужно ли использовать более безотказные элементы в аппаратуре, применять резервирование, или уменьшать среднее время ремонта?

Примерная структурная схема технико-экономического анализа сопоставления безотказности, ремонтпригодности и стоимости приве-

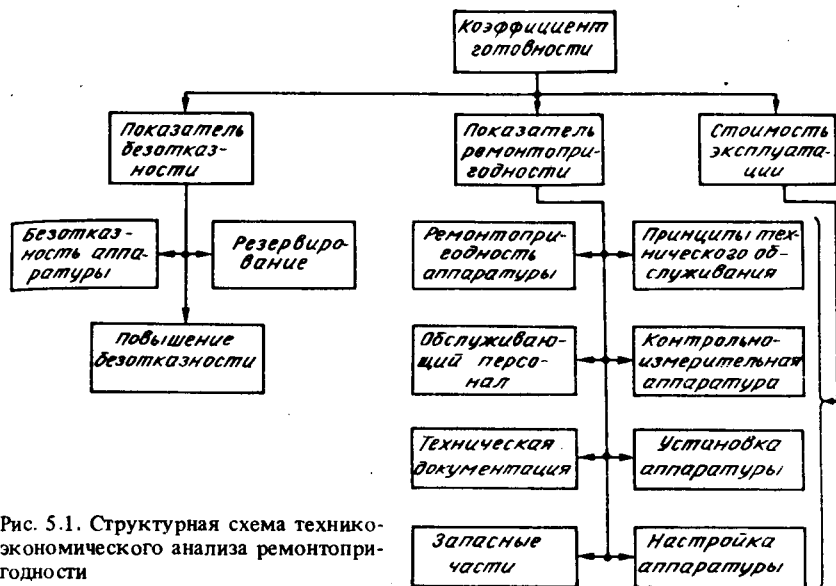


Рис. 5.1. Структурная схема технико-экономического анализа ремонтпригодности

дена на рис. 5.1. Для правильного технико-экономического анализа необходимо иметь исходную информацию для блоков рис. 5.1.

В качестве примера на рис. 5.2 приведена взаимосвязь безотказности и ремонтпригодности при заданном коэффициенте готовности $K_r = 0,999$. Из приведенного на рисунке графика можно получить значения показателей безотказности и ремонтпригодности, приемлемые для достижения заданного коэффициента готовности. Из графика также видно, что, если значение показателя безотказности приближается к нижнему пределу, среднее время ремонта тоже должно уменьшаться, и наоборот.

Обеспечение ремонтпригодности аппаратуры — это предусмотренный комплекс мероприятий, проводимый при проектировании, разработке (производстве) и эксплуатации аппаратуры, обеспечивающий сокращение продолжительности ремонта, технического обслуживания

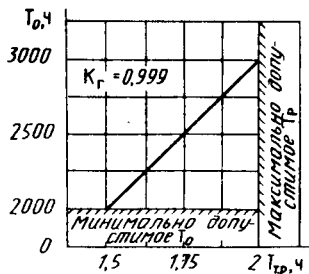


Рис. 5.2. График взаимосвязи безотказности и ремонтпригодности

и экономических затрат, облегчающий техническое обслуживание аппаратуры персоналом, имеющим среднюю квалификацию, при нормальных условиях эксплуатации. Ремонтпригодность РЭА определяется рядом факторов, которые можно разделить на четыре основные группы: конструктивные, организационные, условия эксплуатации и материально-техническое обеспечение.

К конструктивным факторам прежде всего относится сложность аппаратуры. Несмотря на возрастающую сложность РЭА при ее проектировании и изготовлении, можно осуществить мероприятия, повышающие ремонтпригодность. К их числу можно отнести:

- маркировку элементов;
- индикацию неисправностей в узле (блоке);
- наличие контрольных точек для замера параметров аппаратуры;
- доступ ко всем контрольным точкам, блокам, элементам;
- встроенную контрольно-измерительную аппаратуру.

От конструктивных особенностей аппаратуры зависит не только время поиска отказавшего элемента, но и время его замены, которое в основном зависит от доступности к элементу. Время замены элемента зависит также от особенностей его крепления, конструкции разъемов, массы и объема съемных деталей.

Для бытовой РЭА конструкция аппаратуры должна быть рассчитана на возможность технического обслуживания и ремонта одним человеком. При замене кинескопов в телевизионной аппаратуре допускается привлечение помощника.

Настроечные и регулировочные элементы после проведения настройки и регулировки должны фиксироваться. Фиксация не должна исключать возможности их использования при проведении технического обслуживания (ТО) и ремонта.

Конструкция аппаратуры должна исключать необходимость снятия других деталей и узлов, не относящихся непосредственно к проведению данного вида ТО или ремонта. Кабели и жгуты должны быть проложены так, чтобы не препятствовать доступу к сборочным единицам (платам) и не мешать проведению ТО и ремонта. Длина монтажных навесных проводов должна обеспечивать монтаж без натяжения с запасом не менее чем на три пайки или три последующих задела. Перемещение (поворот и т.п.) сборочных единиц, печатных плат, необходимое для проведения ТО и ремонта, не должно ограничиваться длиной проводов, соединяющих их с элементами, расположенными на шасси. Фиксация крепежных деталей не должна затруднять демонтаж стандартным инструментом. Крепление деталей и узлов методом отгибки должно осуществляться лепестками, принадлежащими этим деталям и узлам, а не конструкции. Откидывающиеся шасси должны фиксироваться в удобном для ремонта положении.

К организационным факторам относятся: подготовка обслуживающего персонала; наличие и качество технической документации по

эксплуатации аппаратуры; организация технического обслуживания и способы использования аппаратуры.

К факторам условий эксплуатации относятся: окружающая среда; условия размещения аппаратуры (вибрация, толчки, качка); условия работы обслуживающего персонала (освещенность, шумы и т.д.).

Группа факторов материально-технического обеспечения (наличие инструмента, приборов, запасных элементов, вспомогательных принадлежностей) оказывает значительное влияние на время технического обслуживания и, следовательно, на ремонтпригодность.

При техническом обслуживании РЭА предполагается проведение текущего и восстановительного ремонтов. Текущий ремонт осуществляется во время текущего технического обслуживания (возникновения неисправности), восстановительный — во время профилактического обслуживания.

При ремонте РЭА различают четыре метода:

ремонт методом замены и последующего восстановления;

ремонт методом замены неремонтируемых элементов;

ремонт при наличии резервирования;

замена текущего ремонта профилактическим обслуживанием.

При эксплуатации РЭА, как правило, не применяют какой-либо один метод. Чаще всего используют комбинацию из нескольких методов.

Ремонт методом замены и последующего восстановления узла, блока, модуля применяется для повышения готовности аппаратуры. При этом значительно сокращается время неработоспособного состояния аппаратуры, так как оно сводится ко времени отыскания неисправного элемента схемы, а время ремонта сводится к времени замены блока. Однако целесообразность применения указанного метода зависит от соотношения экономических факторов и достигаемых результатов в повышении готовности аппаратуры, ибо стоимость запасных элементов вследствие большого числа дорогостоящих запасных блоков, узлов, ячеек может быть значительной. Этот метод находит широкое применение при ремонте бытовой РЭА. Блочно-модульная конструкция бытовой РЭА позволяет широко использовать ремонт на дому у владельца путем замены отказавших блоков, модулей, узлов с последующим ремонтом их в стационарных условиях.

Ремонт методом замены неремонтируемых элементов находит широкое применение. В настоящее время к таким элементам РЭА относятся не только резисторы, конденсаторы, ЭВП и полупроводниковые приборы, но также платы с печатным монтажом, ИС и др. Применение указанных современных элементов дает ряд преимуществ: меньший расход времени на отыскание и замену отказавшего элемента, уменьшение количества неисправностей, обеспечение доступности при ремонте, использование менее квалифицированного обслуживающего персонала, снижение стоимости эксплуатации.

При использовании этого метода ремонта для сокращения расходов

на его проведение возникает задача определения оптимального размера ЗИПа неремонтируемых элементов.

Ремонт при наличии резервирования можно рассматривать как разновидность ремонта без снятия выполняемых функций аппаратурой. При этом ремонт отказавшего устройства (элемента) может проводиться позже возникновения отказа, а работоспособность обеспечивается за счет резервного устройства (элемента). Этот метод ремонта и обеспечения работоспособности аппаратуры требует больших расходов и в бытовой РЭА пока не нашел применения.

Замена текущего ремонта профилактическим обслуживанием находит большое применение при эксплуатации РЭА, в том числе и бытовой. Для оценки возможностей профилактического обслуживания необходимо иметь данные по профилактируемым и непрофилактируемым отказам. Профилактируемыми отказами являются те, которые можно предотвратить в процессе профилактики, остальные — непрофилактируемые.

К профилактируемым отказам относятся почти все постепенные и часть внезапных, закон распределения времени безотказной работы которых является функцией наработки элемента.

Без знания закона распределения времени безотказной работы элемента (блока) нельзя обоснованно принимать решения на профилактическую его замену. Вероятность предотвращения профилактируемых отказов зависит от качества аппаратуры, достоверности прогнозирования отказов, периодичности профилактических работ, времени их проведения и квалификации обслуживающего персонала. Хотя профилактическое обслуживание и не может полностью заменить текущий ремонт, однако, оно может продлить межремонтные сроки (повысить T_0), поэтому степень возможной замены текущего ремонта профилактическим обслуживанием зависит от указанных выше факторов.

5.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА

При осуществлении текущего ремонта аппаратуры различают четыре этапа:

- установление наличия неисправности;
- установление характера отказа и отыскание неисправного элемента;
- устранение неисправности;
- проверка аппаратуры после ремонта.

Ремонтопригодность на каждом этапе текущего ремонта обеспечивается следующими факторами:

на этапе установления факта неисправности — наличием системы контроля работоспособности, возможность быстрого автоматического или визуального обнаружения неисправности;

на этапе отыскания неисправности — наличием контрольных точек, маркировкой всех контрольных точек, системой автоматического

контроля (в частности, с применением ЭВМ), наличием функциональных, принципиальных схем и инструкций по отысканию неисправностей, обеспеченностью контрольно-измерительной аппаратурой, квалификацией обслуживающего персонала;

на этапе устранения неисправности — быстрым доступом ко всем блокам, обозначением (маркировкой) каждого элемента, блока, обозначением регулировок, наличием запасных элементов, наличием приборов, инструментов, условиями работы обслуживающего персонала;

на этапе проверки аппаратуры — наличием контрольно-измерительной аппаратуры, инструкций по регулировке и проверке аппаратуры с указанием контролируемых параметров и допусков на них, квалификацией обслуживающего персонала.

Все указанные этапы являются общими для всех ранее рассмотренных методов ремонта независимо от метода отыскания неисправности (автоматического или ручного).

При ручном поиске отказавших элементов, для блочной конструкции аппаратуры (что относится и к бытовой РЭА) соотношение времени по этапам ремонта примерно следующее:

установление наличия неисправностей — 3% общего времени ремонта;

установление характера отказа и отыскание неисправного элемента — 61%;

устранение неисправности — 15%;

проверка аппаратуры после ремонта — 21%.

При проведении текущего ремонта специалист, ремонтирующий аппаратуру, выполняет следующие операции:

осмотр и наблюдение;

консультации с обслуживающим персоналом;

установку и включение испытуемого оборудования, приборов и инструмента;

чтение технических описаний, инструкций по эксплуатации и другой технической документации;

испытание и измерение;

сборку, разборку, чистку и смазку;

удаление, замену или восстановление неисправного элемента;

ожидание ремонта ввиду отсутствия необходимых элементов, блоков;

получение материалов и элементов для замены;

съем и обратную установку агрегатов, блоков, модулей;

регулировку, запись результатов измерений.

Учет времени, затрачиваемого на производство каждой операции, и последующий анализ полученных временных соотношений позволяют наметить правильные пути сокращения времени текущего ремонта применением рациональной методики ремонта и автоматизации его отдельных операций.

С точки зрения использования времени ремонта его можно разделить на активное, административное и время снабжения.

Активное время ремонта — это часть времени текущего ремонта, которое тратится на операции, проводимые непосредственно на аппаратуре. В соответствии с литературой [33] активное время называется средней оперативной продолжительностью ремонта — T_p .

Административное время составляет время ожидания ремонта — T_a .

Время снабжения определяется операциями, связанными с получением материалов, оборудования, приборов, элементов и инструментов — $T_{сн}$.

Таким образом,

$$T_{тр} = T_p + T_a + T_{сн}. \quad (5.1)$$

Далее будем рассматривать только T_p — среднюю оперативную продолжительность ремонта.

Для бытовой РЭА блочно-модульной конструкции T_p должно задаваться для двух уровней ремонта отдельно:

для ремонта первого уровня, выполняемого заменой унифицированных блоков, модулей, узлов;

для ремонта второго уровня, выполняемого заменой отказавших элементов в блоках, модулях, узлах.

В общем случае время устранения неисправностей является случайной величиной, которая наиболее полно описывается законом ее распределения.

Если аппаратура модульного типа и ремонт осуществляется заменой модуля, то имеет место экспоненциальный закон распределения времени ремонта

$$f(t_p) = 1/T_p \exp(-t_p/\bar{T}_p); \quad (5.2)$$

$$F(t_p) = 1 - \exp(-t_p/\bar{T}_p). \quad (5.3)$$

Для этого распределения среднеквадратическое отклонение $\sigma_p = \bar{T}_p$.

В случаях, когда поиск отказов проводится вручную, закон распределения времени текущего ремонта отличен от экспоненциального и, как правило, время ремонта распределено по закону Эрланга:

$$f(t_p) = 4 t_p / \bar{T}_p^2 \exp(-2 t_p / \bar{T}_p); \quad (5.4)$$

$$F(t_p) = 1 - (1 + 2 t_p / \bar{T}_p) \exp(-2 t_p / \bar{T}_p). \quad (5.5)$$

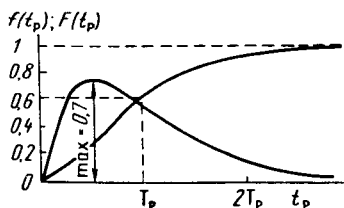


Рис. 5.3. Зависимость $f(t_p)$ и $F(t_p)$ для распределения Эрланга

В частности, при $t_p = \bar{T}_p$; $F(t_p = \bar{T}_p) \approx 0,6$. На рис. 5.3 изображены функции $f(t_p)$ и $F(t_p)$, определяемые формулами (5.4) и (5.5). При этом

$$\sigma_p = \bar{T}_p / \sqrt{2} \approx 0,71 \bar{T}_p.$$

5.3. ПОИСК НЕИСПРАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Проверка работоспособности РЭА и поиск неисправностей относятся к наименее научно обоснованным и упорядоченным работам. Обычно это медленный и утомительный процесс даже для опытных специалистов. Поэтому разработка мер по упрощению отыскания неисправностей сокращает не только среднюю оперативную продолжительность ремонта, но и улучшает условия труда обслуживающего персонала.

Схема РЭА, выполненная на любом уровне деления на элементы, отражает электрические и электромагнитные процессы, протекающие в исправном устройстве. Если в схеме учтены все взаимосвязи между элементами питания и преобразования сигналов, то она может служить как для изучения принципов действия РЭА, так и для поиска отказов, которые объединяются под общим названием "обрывы" [30].

Под обрывом понимается всякое ухудшение или прекращение действия любого элемента, не приводящее к срабатыванию защитного устройства от перегрузок и не вызывающее изменений напряжений питания в схемах РЭА. Обрывом может быть физический разрыв цепи или любое препятствие прохождению сигналов.

При отказах типа "обрыв" задача поиска разрешается успешно, если найден элемент, на входах которого сигналы и питание имеются, а на выходе сигнала нет (или он сильно искажен либо изменился).

Отказы типа "перегрузка" возникают при появлении перегрузки или короткого замыкания в цепях элементов или в цепях подачи питания. При этом происходит срабатывание защитного устройства. Поэтому поисковая последовательность приводит к локализации сработавшего защитного устройства.

При коротком замыкании в элементе, получающем питание, резко уменьшается сопротивление цепи, в результате чего возникает шунтирование цепи питания и ток в ней возрастает. Происходит срабатывание ближайшего устройства защиты.

Перегрузка представляет собой значительное снижение сопротивления, но не полное замыкание. При перегрузках ток в цепях возрастает во всех участках схемы от места, где произошла перегрузка, до предохранителя.

Распределение отказов типа "обрыв" и "перегрузка" (внутренние замыкания) в РЭА [30] приведено в табл. 5.1.

При обнаружении факта отказа РЭА, как правило, неизвестно, какой из элементов служит его причиной и какой вид отказа произошел.

Вид изделия	Обрыв, %	Перегрузка, %
Сетевые трансформаторы	31	69
Импульсные трансформаторы	75	25
Высоковольтные трансформаторы	-	100
ЭВП	80	20
Резисторы	44	56
Конденсаторы	23	77
Катушки	82	18
Полупроводниковые приборы	32	68
Некоторые виды микросхем	60	40

Для облегчения отыскания места и вида отказа разработаны различные диагностические методы и диагностическая аппаратура, подробно описанные в гл. 8 и 9.

При техническом диагностировании различают функционально-диагностирование, когда рабочие воздействия подаются на аппаратуру при ее функционировании, и тестовое диагностирование, когда на РЭА подаются тестовые воздействия, которые предназначены только для технической проверки аппаратуры. В обоих случаях к мерам, облегчающим отыскание неисправностей, в первую очередь относится автоматизация этого процесса. Однако автоматические системы отыскания неисправностей целесообразно применять тогда, когда затраты на их создание и эксплуатацию оправдываются повышением ремонтпригодности. В автоматических системах отыскания неисправностей применяются ЭВМ в сочетании с необходимой аппаратурой контроля. В бытовой РЭА в настоящее время этот способ стал находить применение.

В качестве примера тестового диагностирования можно указать на метод диагностических таблиц. Сущность этого метода состоит в анализе реакций испытуемой аппаратуры на контрольные сигналы (тесты). Для составления диагностической таблицы прежде всего составляется список возможных неисправностей в аппаратуре. Далее составляется список контрольных тестов. Под тестом понимается сочетание определенного сигнала, подаваемого на определенные входы аппаратуры, с соответствующей ему реакцией на определенных выходах. Отыскание неисправности в аппаратуре производится при очередном прохождении тестов.

Распространенным методом поиска неисправностей в бытовой РЭА является метод проверки исправности конкретного элемента или части схемы. Он разделяется:

- на способ внешнего осмотра;
- на способ промежуточных измерений;
- на способ замены.

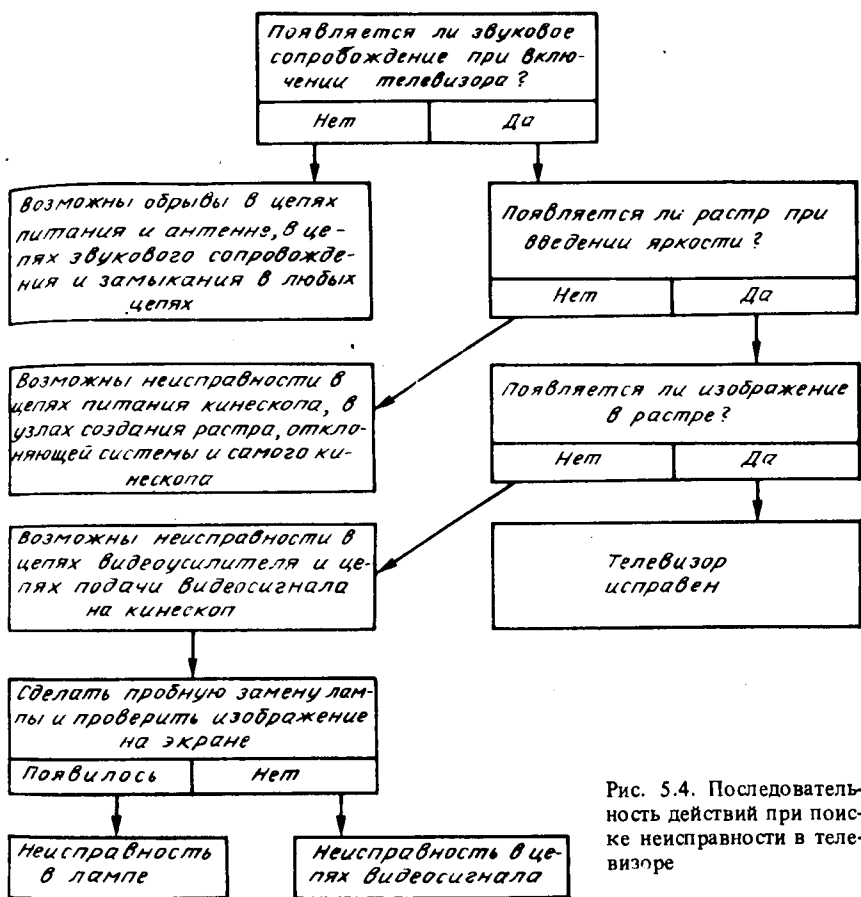


Рис. 5.4. Последовательность действий при поиске неисправности в телевизоре

Способ внешнего осмотра заключается в осмотре монтажа и элементов схемы. В результате внешнего осмотра устанавливается наличие изменений внешнего вида элементов, их перегрева, течи, искрения, подгорания, разрушения и т.д.

Способ промежуточных измерений заключается в измерении параметров элементов или схем аппаратуры. При соответствии измеряемых параметров или режимов работы установленным допускам утверждается исправность элемента (блока, модуля) или всей схемы. Иногда способ промежуточных измерений подразделяют на последовательные поэлементные проверки и групповые проверки. Последние применяются для устройств, имеющих вид последовательной цепи элементов.

Способ замены предусматривает замену отдельных элементов на заведомо исправные, и при восстановлении признака нормальной

работы делается вывод об отказе замененного элемента (блока, модуля и др.).

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

Для установления факта неисправности элемента (части схемы) можно применять несколько способов в зависимости от типа аппаратуры, наличия приборов, ЗИПа и квалификации обслуживающего персонала.

В качестве примера на рис. 5.4 приведена последовательность действий при поиске неисправности в телевизоре при использовании рассмотренных трех способов отыскания отказа.

5.4. РАСЧЕТ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

При аналитическом расчете и простейшем потоке отказов условную вероятность отказа элемента i -й группы можно представить в виде

$$q_i = \lambda_i / \sum_{j=1}^m \lambda_j, \quad (5.6)$$

где λ_i – интенсивность отказов элементов i -й группы; m – число групп элементов в аппаратуре.

Если обозначить активное время ремонта аппаратуры при отказе элемента i -й группы как \bar{T}_{pi} , то среднее время ремонта аппаратуры \bar{T}_p определится как математическое ожидание:

$$\bar{T}_p = \sum_{i=1}^m q_i \bar{T}_{pi}. \quad (5.7)$$

Для определения \bar{T}_p по формуле (5.7) необходимо располагать данными о времени ремонта при отказе элементов различных групп. Время ремонта зависит от типа отказавшего элемента, блока, микросхемы. Кроме того, оно зависит от расположения элементов в аппаратуре.

На стадии проектирования для ориентировочного расчета \bar{T}_p по формуле (5.7) используют данные о средних значениях времени \bar{T}_{pi} , полученные при эксплуатации или испытаниях аналогичной аппаратуры.

Средняя оперативная продолжительность ремонта T_p складывается из времени поиска неисправного элемента t_0 , среднего времени замены элемента t_3 , среднего времени проверки исправности аппаратуры после замены отказавшего элемента $t_{пр}$. Таким образом,

$$T_p = t_0 + t_3 + t_{пр}. \quad (5.8)$$

Экспериментальная оценка ремонтпригодности проводится по данным эксплуатации или специальных испытаний на ремонтпригодность аппаратуры. Получение опытных данных при реальной эксплуатации связано с большой продолжительностью. Если данные нужно

Система (шифр)	Дата	Радиомеханик	Примечание
Время выполнения операций, мин	Проводимые операции		
00:0	Начало работы		
05:0	Проверен параметр на выходе		
07:0	Снят кожух		
10:0	Настроен осциллограф		
14:0	Измерен параметр с помощью осциллографа		
20:0	Заменен микромодуль		
24:0	Измерен параметр с помощью осциллографа		
27:0	Проведена регулировка параметра		
29:0	Установлен кожух		
32:0	Проверено функционирование аппаратуры		

получить быстро, то проводятся специальные испытания на ремонтно-пригодность. Для проведения испытаний разрабатывается план, в котором предусматривается:

объем и время испытаний;

цели и условия испытаний;

режимы работы при испытаниях;

количественные характеристики ремонтнопригодности и методы их оценки;

контрольно-измерительная и диагностическая аппаратура;

организация испытаний, участники испытаний и используемая документация;

обработка результатов испытаний и форма отчета по испытаниям.

При этом условия испытаний должны быть максимально приближены к реальным условиям эксплуатации (размещение аппаратуры, освещение, инструменты, испытательное оборудование, документация и др.). Количество и квалификация обслуживающего персонала должны соответствовать условиям эксплуатации и ремонта данного вида аппаратуры.

Объем испытаний определяется необходимой достоверностью оценки ремонтнопригодности. Обычно считается, что достаточно иметь данные по 20 отказам.

Для испытаний статистически определяется выборка имитируемых отказов, поочередно вводимых в аппаратуру, при условиях, максимально близких к эксплуатационным. Последовательность испытаний на ремонтнопригодность заключается в воспроизведении последовательности имитируемых отказов. В результате эксплуатации или испытаний необходимо получить t_0 , t_3 и $t_{пр}$. Для фиксации времени выпол-

нения определенных операций необходимо делать соответствующие записи в специальных таблицах. Одна из возможных форм таблицы (ведется на устранение каждого отказа) приведена в табл. 5.2.

В дальнейшем таблица позволяет получить суммарное время T_p и время выполнения отдельных операций. Из рассмотрения этого примера получим:

$$\begin{aligned} \bar{T}_p &= 32 \text{ мин}; t_0 = 14 \text{ мин}; t_3 = 6 \text{ мин}; t_{\text{пр}} = \\ &= (4 + 3 + 2 + 3) \text{ мин} = 12 \text{ мин}. \end{aligned}$$

На основании полученных статистических данных по результатам испытаний или эксплуатации рассчитывают значения ремонтпригодности с заданной точностью и достоверностью. Метод расчета оценок времени ремонта с учетом заданных требований по точности и достоверности зависит от закона распределения времени ремонта (как правило, по экспоненциальному закону и закону Эрланга). Средняя продолжительность ремонта

$$\bar{T}_p = \left(\sum_{i=1}^n \bar{T}_{pi} \right) / n, \quad (5.9)$$

где \bar{T}_{pi} – время ремонта аппаратуры при i -м отказе; n – число отказов аппаратуры за выбранный отрезок времени.

При этом

$$\bar{T}_{pi} = \sum_{j=1}^{m_p} t_{pj},$$

где t_{pj} – среднее время работы при выполнении j -й операции при i -м ремонте; m_p – число операций при выполнении i -го ремонта.

При экспоненциальном распределении времени ремонта нижнюю и верхнюю границы среднего времени ремонта находят из выражений

$$T_{p,н} = \bar{T}_p r_2; \quad (5.10)$$

$$T_{p,в} = \bar{T}_p r_1. \quad (5.11)$$

Коэффициенты r_1 и r_2 определяются по формулам (4.20) и (4.21). Значения r_1 и r_2 табулированы. В табл. 2 и 3 приложения они находятся по значениям n и $P(\epsilon)$.

Если время ремонта подчиняется закону Эрланга, распределение плотности вероятности $\Psi(t_p)$ статистической оценки для неизвестного среднего времени ремонта \bar{T}_p имеет вид

$$\Psi(t_p) = \frac{2n^{2n}}{\bar{T}_p^{2n} \Gamma(2n)} (t_p)^{2n-1} e^{-2n t_p / \bar{T}_p}. \quad (5.12)$$

По формуле (5.12) рассчитывается вероятность попадания вели-

чины T_p в заданные пределы, т.е. рассчитывается доверительная вероятность. Для различных значений доверительной вероятности $P(\epsilon)$ и числа опытов n рассчитаны коэффициенты δ_1 и δ_2 для параметра \bar{T}_p , которые табулированы и приведены в табл. 5 приложения. Значения $T_{p,n}$ и $T_{p,v}$ находят по формулам

$$T_{p,n} = \bar{T}_p / \delta_2; \quad (5.13)$$

$$T_{p,v} = \bar{T}_p \cdot \delta_1. \quad (5.14)$$

Пример 5.1. Из-за возникших в системе $n = 10$ отказов на восстановление работоспособности было затрачено до 20 ч. Определить доверительный интервал параметра \bar{T}_p с доверительной вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$ при экспоненциальном распределении времени ремонта.

Решение. 1. $\bar{T}_p = 20 \text{ ч} / 10 = 2 \text{ ч}$.

2. По табл. 2 и 3 приложения находим (при $n = 10$ и $P(\epsilon) = 0,95$) $r_1 = 1,83$ и $r_2 = 0,64$.

$$T_{p,n} = T_p r_2 = 2 \cdot 0,64 = 1,28 \text{ ч};$$

$$T_{p,v} = T_p r_1 = 2 \cdot 1,83 = 3,66 \text{ ч};$$

$$I_\epsilon = 1,28 - 3,66 \text{ ч}.$$

Пример 5.2. Имеется непрерывно работающая двухканальная линия связи. Интенсивность отказов и время ремонта канала имеют экспоненциальное распределение с параметрами $\lambda = 10^{-2} \text{ ч}^{-1}$ и $\mu = 1 \text{ ч}^{-1}$. Определить среднее значение суммарного времени ремонта линии и доверительный интервал с $P(\epsilon) = 0,99$ за время эксплуатации $t = 2000 \text{ ч}$. Для восстановления имеется одна бригада. Вероятность отказа двух каналов одновременно $P_{1,2} = 0,25$. Ремонт отказавшего канала требует выключения всей линии.

Решение 1. Находим наработку на отказ одного канала:

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

2. Находим количество отказов в одном, двух каналах и одновременно возникших в двух каналах:

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

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

3. Находим среднее время ремонта:

75% всех отказов восстанавливаются за время

$$\bar{T}_{p1} = 1/\mu = 1 \text{ ч};$$

25% всех отказов восстанавливаются поочередно за время

$$\bar{T}_{p1,2} = 1/\mu + 1/\mu = 2/\mu = 2 \text{ ч};$$

среднее время ремонта линии

$$\bar{T}_p = (\bar{T}_{p1} \cdot 30 + T_{p1,2} \cdot 10)/40 = 50/40 = 1,25 \text{ ч}.$$

4. По табл. 2 и 3 приложения находим (при $n = 40$ и $P(\epsilon) = 0,99$)
 $r_1 = 1,5$ и $r_2 = 0,71$.

$$T_{p,n} = \bar{T}_p r_2 = 1,25 \cdot 0,71 = 0,88 \text{ ч;}$$

$$T_{p,v} = \bar{T}_p r_1 = 1,25 \cdot 1,5 = 1,87 \text{ ч;}$$

$$I_\epsilon = 0,88 \text{ и } 1,87 \text{ ч.}$$

Пример 5.3. При эксплуатации устройства было зарегистрировано $n = 30$ отказов. Распределение отказов по группам элементов и время, затраченное на ремонт, приведены в табл. 5.3. Необходимо найти сред-

Таблица 5.3

Группа элементов	Количество отказов по группе n_i	Вес отказов по группе $P_i = n_i/n$	Время ремонта, мин \bar{T}_{pi}	Суммарное время ремонта по группе, мин $T_{\Sigma i}$
Полупроводниковые приборы	6	0,2	80 59 108 45 73 91	456
ЭВП	10	0,33	56 36 44 42 33 32 23 75 61 28	430
Микромодули	4	0,14	26 34 19 23	102
Резисторы и конденсаторы	7	0,23	60 73 91 58 44 82 54	462

Группа элементов	Количество отказов по группе n_i	Вес отказов по группе $P_i = n_i/n$	Время ремонта, мин \bar{T}_{pi}	Суммарное время ремонта по группе, мин $T_{\Sigma i}$
Прочие элементы	3	0,1	125 133 108	366

нее время ремонта устройства и доверительный интервал при $P(\epsilon) = 0,9$ и распределении времени ремонта по закону Эрланга.

Р е ш е н и е. 1. Определяем среднее время ремонта аппаратуры по группам элементов:

для полупроводниковых приборов

$$\bar{T}_{p1} = (1/n_1) \sum_{i=1}^6 \bar{T}_{p1i} = 456/6 = 76 \text{ мин};$$

для ЭВП $T_{p2} = 430/10 = 43 \text{ мин};$

для микромодулей $\bar{T}_{p3} = 102/4 = 25,5 \text{ мин};$

для резисторов и конденсаторов $\bar{T}_{p4} = 462/7 = 66 \text{ мин};$

для прочих элементов $\bar{T}_{p5} = 366/3 = 122 \text{ мин}.$

2. Рассчитаем среднее время ремонта устройства:

$$\bar{T}_p = \sum_{i=1}^5 \bar{T}_{pi} P_i,$$

где \bar{T}_{pi} — среднее время ремонта элементов i -й группы; P_i — вес (вероятность) отказов по группам элементов.

Подставляя числовые данные, получим

$$\begin{aligned} \bar{T}_p &= (76 \cdot 0,2 + 43 \cdot 0,33 + 25,5 \cdot 0,14 + 66 \cdot 0,23 + 122 \cdot 0,1) = \\ &= (15,2 + 14,19 + 3,22 + 15,18 + 12,2) \approx 60 \text{ мин}. \end{aligned}$$

3. По табл. 5 приложения [при $n = 30$ и $P(\epsilon) = 0,9$] находим $\delta_1 = 0,835$ и $\delta_2 = 1,22$.

Тогда, с учетом формул (5.13) и (5.14), получим нижнюю и верхнюю доверительные границы времени ремонта

$$T_{p.н} = \bar{T}_p / \delta_2 = 60/1,22 = 49,18 \text{ мин};$$

$$T_{p.в} = \bar{T}_p / \delta_1 = 60/0,835 = 71,85 \text{ мин};$$

$$I_\epsilon = 49,18 - 71,85 \text{ мин}.$$

5.5. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

5.5.1. На испытания было поставлено 50 ремонтируемых устройств. За время испытаний отказало 15 устройств. Время ремонта которых составило в часах: 4; 3,7; 5,2; 3,4; 3,2; 4,7; 4,2; 4,5; 5,3; 3,1; 4,4; 4,8; 3,8; 4,6; 3,9. Определить доверительный интервал для \bar{T}_p с доверительной вероятностью $P(\epsilon) = 0,9$ при экспоненциальном распределении времени ремонта.

Ответ. $I_\epsilon = 3,09 - 6,11$ ч.

5.5.2. Определить объем испытаний при условии, чтобы оценка среднего времени ремонта с вероятностью $P(\epsilon) = 0,99$ не отличалась от верхней доверительной границы более чем в два раза при экспоненциальном законе распределения времени ремонта.

Ответ. $n = 15$.

5.5.3. Определить объем испытаний при условии, чтобы оценка среднего времени ремонта с вероятностью $P(\epsilon) = 0,99$ не отличалась от нижней доверительной границы более чем в 1,5 раза при распределении времени ремонта по закону Эрланга.

Ответ. $n = 11$.

5.5.4. При испытаниях 12 экземпляров аппаратуры получена суммарная наработка $t_\Sigma = 1500$ ч при отказе шести экземпляров. Время безотказной работы распределено по экспоненциальному закону. Требуется оценить минимальное время, в течение которого аппаратура будет работать безотказно с вероятностью $P(\epsilon) = 0,95$, а также найти доверительный интервал времени ремонта при $P(\epsilon) = 0,9$ и распределении времени ремонта по закону Эрланга, если интенсивность ремонта $\mu_p = 0,5 \text{ ч}^{-1}$.

Ответ. $T_{0H} = 142,5$ ч; $I_\epsilon = 1,45 - 3,05$ ч.

Глава 6. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РЭА

6.1. СОДЕРЖАНИЕ И ЭТАПЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Техническим обслуживанием называют комплекс работ для поддержания исправности или только работоспособности объекта при подготовке и использовании по назначению, при хранении и транспортировании.

Техническое обслуживание РЭА включает в себя следующие составляющие:

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

Контроль технического состояния проводится для оценки состояния аппаратуры, т.е. сопоставления истинных значений параметров конкретной аппаратуры с их номинальными значениями с учетом допусков.

Основным содержанием технического обслуживания является профилактическое обслуживание, которое выполняется, как правило, в плановом порядке для поддержания аппаратуры в исправном (работоспособном) состоянии, предупреждения отказов при использовании по назначению и продления ее ресурса.

Профилактическое обслуживание, на выполнение которого установлены сроки и время проведения, называют регламентными работами.

Снабжение предусматривает получение ЗИПа, материалов, оборудования, приборов, инструментов для проведения профилактического обслуживания.

Сбор и обработка результатов эксплуатации проводятся для количественной оценки эксплуатационно-технических показателей за определенный период эксплуатации.

Профилактические работы предусматривают:

- внешний осмотр и чистку аппаратуры;
- контрольно-регулирующие работы;
- прогнозирование отказов;
- сезонные, смазочные и крепежные работы;
- технические осмотры;
- технические проверки.

Внешний осмотр аппаратуры выполняют для выявления внешних признаков возможных неисправностей, проверки правильности установки органов управления, проверки состояния элементов и монтажа. Чистка аппаратуры предусматривает удаление с нее пыли, влаги, коррозии.

Наиболее трудоемкой частью профилактического обслуживания являются контрольно-регулирующие работы и тесно связанные с ними работы по прогнозированию отказов. Контрольные работы включают контроль параметров РЭА относительно установленных допусков.

Регулирующие работы проводятся для восстановления утраченных аппаратурой свойств или работоспособности. Для бытовой РЭА на этом этапе проводят работы по снижению пожароопасности телевизоров и восстановлению работоспособности кинескопов, потерявших эмиссию катодов после длительной эксплуатации.

Прогнозирование отказов — метод предсказания отказов, который основывается на предположении, что возникновению отказов предшествует постепенное изменение параметров объекта или элементов. Прогнозирование осуществляется для постепенных отказов в целях своевременной замены (ремонта, регулировки) соответствующих элементов, блоков.

Сезонные, смазочные, крепежные работы проводятся в целях подготовки РЭА к эксплуатации в определенное время года, обеспечения работоспособности соответствующих деталей. При сезонных работах проводят мероприятия по уменьшению проникания влаги в аппаратуру, по утеплению (зимой) и охлаждению (летом) аппаратуры, исполь-

зуют специальные масла для различных сезонов и т.д. Смазочные работы предусматривают либо наполнение, либо полную смену масел в картерах механических агрегатов, подшипниках, шарнирах соединений и фильтрах. Крепежные работы включают проверку крепежных деталей (болтов, гаек, шплинтов, шпилей и др.), их крепления, поставку и смену неисправных деталей.

После проведения сезонных работ на РЭА осуществляют контрольно-регулирующие работы. Для систематического контроля за техническим состоянием аппаратуры проводят технические осмотры и технические проверки аппаратуры.

(Технические осмотры осуществляют в целях проверки правильности содержания и сбережения аппаратуры, проверки работоспособности, правильности ведения технической и учетно-отчетной документации, а также укомплектованности ЗИПом.

Технические проверки проводятся для определения технического состояния, работоспособности и готовности аппаратуры. Они предусматривают технический осмотр, проверку своевременности проведения регламентных работ, ремонтов и знания обслуживающим персоналом аппаратуры и правил ее эксплуатации.

Профилактическое обслуживание, как правило, включает три этапа: профилактические работы на обесточенной аппаратуре выполняются при внешнем осмотре и чистке аппаратуры, при сезонных, смазочных и крепежных работах и предусматривают осмотр состояния монтажа, паек, креплений, чистку блоков аппаратуры, замену смазок;

профилактические работы под током предусматривают проверку узлов и блоков в целях установки режимов работы аппаратуры, проверку работоспособности элементов и устройств, регулировку и подстройку параметров отдельных элементов и устройств;

профилактический контроль функционирования РЭА предусматривает контроль работоспособности объекта в нормальных и специальных режимах, а также комплексную отладку и проверку основных параметров аппаратуры в целом. ✓

На каждом этапе обслуживания проводятся операции по поддержанию аппаратуры в исправном или работоспособном состоянии. При этом профилактические (регламентные) работы отличаются одна от другой уровнем обслуживания, т.е. объемом работ, предусмотренных для данного вида регламентных работ. При определении объема и периодичности проведения регламентных работ необходимо учитывать два противоречивых требования: с одной стороны, профилактические работы повышают надежность, а с другой — ведут к простоям аппаратуры и снижению коэффициента готовности и экономическим потерям. ✓ Поэтому при организации профилактических работ к ним предъявляют следующие требования:

обеспечить поддержание параметров надежности аппаратуры на требуемом уровне;

предусмотреть минимальные стоимость профилактических работ и время их выполнения;

спланировать и организовать проведение профилактических работ наиболее простыми методами.

Объем и периодичность выполнения профилактических работ регламентируются специальными инструкциями по эксплуатации конкретной аппаратуры. Периодичность регламентных работ назначают исходя из времени работы аппаратуры или календарного срока эксплуатации.

При временном принципе периодичность выполнения регламентных работ определяется временем наработки аппаратуры. Такую организацию регламентных работ используют, как правило, при эксплуатации авиационной и другой аппаратуры, эксплуатируемой в особых условиях.

При календарном принципе регламентные работы проводят через определенный календарный срок независимо от того, сколько времени использовалась по назначению аппаратура в течение этого срока. Календарный принцип является основным для РЭА, потому что он заранее позволяет планировать регламентные работы. При этом они могут быть ежедневными (декадными), месячными, квартальными, полугодовыми и годовыми. Каждый последующий вид из перечисленных регламентных работ имеет свой соответственно больший объем работ, чем предыдущий, и, как правило, включает весь объем работ предыдущего вида.

При планировании профилактических мероприятий необходимо учитывать способ использования аппаратуры. По способу использования РЭА можно разделить на три группы: аппаратура разового действия, непрерывно работающая аппаратура и дежурная аппаратура.

Аппаратура разового действия используется по своему назначению только один раз (аппаратура различных ракет, шаров-зондов и др.). Для такой аппаратуры характерны следующие режимы работы: хранение, подготовка к использованию по назначению, использование по назначению. При этом для поддержания аппаратуры в исправном состоянии в процессе хранения и при подготовке к использованию проводят все виды профилактического обслуживания. Если при выполнении профилактических работ обнаруживаются отказы, то их восстанавливают ремонтом или заменой.

Непрерывно работающая аппаратура используется по своему целевому назначению часть суток или сутки и более, если в ней нет отказов. К такой аппаратуре относится ЭВМ, радио- и телецентры, бытовая РЭА и др.

Дежурная аппаратура используется по своему назначению непродолжительное время, причем время подачи заявки на использование ее является случайным. В остальное время аппаратура работает в облегченном режиме (в обесточенном состоянии или под током, работают

не все элементы или блоки системы). К такой аппаратуре относятся некоторые РЛС, служебные радиостанции, контрольно-измерительная аппаратура и т.д.

6.2. ПЕРИОДИЧНОСТЬ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

При эксплуатации РЭА возникает два вида отказов — внезапные и постепенные.

Появление внезапных отказов представляет собой простейший поток случайных событий, поэтому прогнозировать их не представляется возможным (их устраняют по мере возникновения).

Постепенные отказы возникают в результате постепенного изменения параметров элементов и аппаратуры, что позволяет прогнозировать и предотвращать их профилактическими мероприятиями при проведении технического обслуживания.

При выборе значения периода выполнения профилактических работ необходимо иметь в виду, что при сокращении периода между техническими обслуживаниями повышается надежность за счет своевременного проведения контрольно-регулирующих работ. Однако при этом увеличивается объем и общее время профилактики в течение года, что приводит к уменьшению коэффициента технического использования РЭА.

$$K_{T,и} = T_{0\Sigma} / (T_{0\Sigma} + T_{p\Sigma} + T_{тo\Sigma}), \quad (6.1)$$

где $T_{0\Sigma}$ — суммарная наработка в течение рассматриваемого календарного времени t_K ; $T_{p\Sigma}$ — суммарное время ремонтов за время t_K ; $T_{тo\Sigma}$ — суммарное время всех профилактических работ за время t_K .

Существует определенное оптимальное значение периода выполнения профилактических работ, при котором обеспечивается лучшее соотношение между надежностью аппаратуры и объемом профилактики. В качестве основного критерия для выбора оптимального периода проведения профилактических работ целесообразно принять коэффициент простоя $K_{п}$.

Рассмотрим отрезок времени между окончаниями двух соседних профилактик. Среднее значение этого отрезка $t_{т.о}$ равно сумме времени между профилактиками $\tau_{т.о}$ и средней продолжительности выполнения профилактики, т.е.

$$t_{т.о} = \tau_{т.о} + T_{т.о}. \quad (6.2)$$

В неработоспособном состоянии за рассматриваемый отрезок времени объект будет находиться в течение среднего времени:

$$t_{т.о} - T_{оп} = \tau_{т.о} + T_{т.о} - T_{оп}. \quad (6.3)$$

Здесь $T_{оп}$ — наработка объекта (работоспособное состояние) между двумя профилактиками.

В этом случае коэффициент простоя

$$K_{\Pi} = \tau_{T,0} + T_{T,0} - T_{0\Pi} / [(\tau_{T,0} + T_{T,0} - T_0) + T_{0\Pi}]. \quad (6.4)$$

Так как $(\tau_{T,0} + T_{T,0} - T_{0\Pi}) \leq T_{0\Pi}$, то выражение (6.4) можно записать в виде

$$K_{\Pi} = (\tau_{T,0} + T_{T,0} - T_{0\Pi}) / T_{0\Pi}. \quad (6.5)$$

Известно, что $T_0 = \int_0^{\infty} P(t) dt$. В нашем случае

$$T_0 = \int_0^{\tau_{T,0}} P(t) dt, \quad (6.6)$$

где $P(t) = \exp \left[- \int_0^{\tau_{T,0}} \lambda(t) dt \right]$ — вероятность исправного состояния объекта за время $\tau_{T,0}$.

Следовательно,

$$\begin{aligned} T_{0\Pi} &= \int_0^{\tau_{T,0}} \left\{ \exp \left[- \int_0^{\tau_{T,0}} \lambda_{\Pi}(t) dt \right] \right\} dt = \\ &= (1/\lambda_{\Pi}) [1 - \exp(-\lambda_{\Pi} \tau_{T,0})]. \end{aligned} \quad (6.7)$$

Для определения оптимального периода $\tau_{T,0}$ выполним дифференцирование выражения (6.5) для K_{Π} по $\tau_{T,0}$, приравняем производную нулю и, проведя преобразование, получим

$$1 + \lambda_{\Pi} (\tau_{T,0} + T_{T,0}) = 1/\exp(-\lambda_{\Pi} \tau_{T,0}). \quad (6.8)$$

Учитывая, что величина $\lambda_{\Pi} \tau_{T,0} \ll 1$, можем записать $\exp(-\lambda_{\Pi} \tau_{T,0}) = \exp(\lambda_{\Pi} \tau_{T,0})$, а так как $\exp(\lambda_{\Pi} \tau_{T,0}) \approx 1$ при $\lambda_{\Pi} \tau_{T,0} \ll 1$, то в этом случае

$$\exp(\lambda_{\Pi} \tau_{T,0}) \approx 1/\exp(\lambda_{\Pi} \tau_{T,0}).$$

Тогда выражение (6.8) можем записать в виде

$$1 + \lambda_{\Pi} \tau_{T,0} + \lambda_{\Pi} T_{T,0} = \exp(\lambda_{\Pi} \tau_{T,0}). \quad (6.9)$$

Разложим функцию $\exp(\lambda_{\Pi} \tau_{T,0})$ в ряд и для получения достаточной точности оставим лишь первые три члена, тогда

$$\exp(\lambda_{\Pi} \tau_{T,0}) = 1 + \lambda_{\Pi} \tau_{T,0} + (\lambda_{\Pi} \tau_{T,0})^2 / 2. \quad (6.10)$$

Подставив равенство (6.10) в правую часть формулы (6.9) и произведя сокращения, получим

$$\lambda_{\Pi} T_{T,0} = (\lambda_{\Pi} \tau_{T,0})^2 / 2, \quad (6.11)$$

откуда

$$\tau_{T,0} = \sqrt{2T_{T,0}/\lambda_{\Pi}}, \quad (6.12)$$

где $T_{T,0}$ — средняя продолжительность технического обслуживания; λ_{Π} — интенсивность отказов при проведении профилактики.

Для случая экспоненциального распределения отказов

$$\tau_{т.о} = \sqrt{2 T_{т.о} T_{оп}} . \quad (6.13)$$

При определении периода проведения профилактических работ на аппаратуре, которая определенную часть времени используется по назначению, а остальное время находится в выключенном состоянии, необходимо учитывать как интенсивность отказов аппаратуры во время ее работы — λ_1 , так и в то время, когда она находится в выключенном состоянии — λ_2 . К такой аппаратуре относится бытовая РЭА и некоторые виды дежурной аппаратуры.

Соотношение между временем включенного и выключенного состояний характеризуется коэффициентом интенсивности эксплуатации:

$$K_{и} = \sum_{i=1}^{n_{в}} t_i/t_{к}, \quad (6.14)$$

где t_i — время работы аппаратуры при i -м включении; $n_{в}$ — число включений за время $t_{к}$; $t_{к}$ — календарное время работы аппаратуры.

Из выражения (6.14) следует, что коэффициент интенсивности эксплуатации можно определить как вероятность нахождения аппаратуры во включенном состоянии в любой произвольный момент времени. Следовательно, вероятность нахождения аппаратуры в выключенном состоянии равна $1 - K_{и}$. Тогда суммарная интенсивность отказов

$$\lambda_c = K_{и} \lambda_1 + (1 - K_{и}) \lambda_2. \quad (6.15)$$

Подставив в выражение (6.12) вместо $\lambda_{п}$ значение λ_c из равенства (6.15), получим

$$\tau_{т.о} = \sqrt{2 T_{т.о} / [K_{и} \lambda_1 + (1 - K_{и}) \lambda_2]}. \quad (6.16)$$

Если отказами в выключенном состоянии аппаратуры пренебречь, то

$$\tau_{т.о} = \sqrt{2 T_{т.о} / K_{и} \lambda_{п}}. \quad (6.17)$$

Непрерывный рост качества бытовой РЭА, планомерный переход к производству ее на базе принципов и методов миниатюризации, внедрение высоконадежных интегральных микросхем и цифровой обработки информации позволили значительно расширить ее функциональные возможности, повысить надежность, стабильность характеристик и параметров аппаратуры. Указанное обстоятельство приводит к тому, что расчет периодичности профилактических работ по формулам (6.12), (6.16) и (6.17) дает завышенные результаты. В действительности профилактические работы необходимо проводить реже. Это заставляет ввести в указанные формулы коэффициент, характеризующий стабильность параметров бытовой РЭА в период между профилактиками.

Тогда формула (6.17), которая является основной для расчета $\tau_{т.о}$ для бытовой РЭА, примет вид

$$\tau_{т.о.с} = K_{ст} \sqrt{2 T_{т.о} / K_{и} \lambda_{п}}, \quad (6.18)$$

где $K_{ст}$ — коэффициент, учитывающий стабильность параметров аппаратуры.

Коэффициент $K_{ст}$ определяется по результатам эксплуатации или специальных испытаний для каждого типа бытовой или другой РЭА.

Для дежурной аппаратуры, которая небольшую часть времени работает под током, а остальное время находится в обесточенном состоянии, при выборе периодичности профилактических работ можно пользоваться формулами (6.16), (6.17) или (6.18). Если же она большую часть времени работает под током и лишь небольшую часть времени находится в обесточенном состоянии, то можно пренебречь влиянием на безотказность величин λ_2 и $K_{и}$ и период $\tau_{т.о}$ следует вычислять по формуле (6.12).

Особенностью эксплуатации аппаратуры разового действия является наличие различных режимов ее работы (хранение, подготовка к использованию, использование по назначению). Так как профилактические работы на такой аппаратуре проводятся во время хранения (и если пренебречь отказами в режиме подготовки к использованию по назначению), то период проведения профилактических работ для аппаратуры разового действия

$$\tau_{т.о} = \sqrt{2 T_{т.о} / \lambda_{хр}}, \quad (6.19)$$

где $\lambda_{хр}$ — интенсивность отказов в режиме хранения.

Обычно $\lambda_{хр} = (1-10) 10^{-3} \lambda_1$, где λ_1 — интенсивность отказов в режиме работы под током (во включенном состоянии).

Из выражений (6.12)–(6.19) видно, что оптимальный период профилактических работ определяется длительностью профилактики $T_{т.о}$ и интенсивностью отказов (наработкой на отказ) с учетом профилактики.

Средняя продолжительность технического обслуживания $T_{т.о}$ определяется количеством контролируемых и регулируемых параметров и оценивается средним временем, затрачиваемым на проведение одной профилактики:

$$T_{т.о} = \sum_{i=1}^{m_{п}} T_{т.о i}, \quad (6.20)$$

где $T_{т.о i}$ — среднее время выполнения i -й операции; $m_{п}$ — число операций при одной профилактике, определяемое количеством контролируемых и регулируемых параметров.

За определенный календарный срок t_k объем профилактических работ зависит от периода их проведения $\tau_{т.о}$, числа и последовательности проверяемых и регулируемых параметров $m_{п}$ и среднего времени выполнения каждой операции $T_{т.о i}$.

Пример 6.1. Приемник при проведении профилактических работ длительностью $T_{T.O} = 6$ ч, имеет интенсивность отказов $\lambda_{п} = 1,25 \times 10^{-4}$ ч⁻¹, коэффициент интенсивности эксплуатации $K_{и} = 0,2$. Отказами в выключенном состоянии можно пренебречь. Определить $\tau_{T.O}$.

Решение. $\tau_{T.O} = \sqrt{2 T_{T.O} / K_{и} \lambda_{п}} = \sqrt{2 \cdot 6 / 0,2 \cdot 1,25 \cdot 10^{-4}} = 693$ ч.

Пример 6.2. Нарботка на отказ магнитофона при экспоненциальном законе надежности и без проведения профилактических работ составила $T_0 = 300$ ч. При проведении профилактических работ длительностью $T_{T.O} = 5$ ч наработка на отказ составила 700 ч. Среднее время ремонта $T_p = 6$ ч. Коэффициент интенсивности эксплуатации $K_{и} = 0,25$. Интенсивность отказов в выключенном состоянии $\lambda_2 = 2 \cdot 10^{-6}$ ч⁻¹. Определить $\tau_{T.O}$, а также $K_{Г}$ и $K_{O,Г}$ для $t = 2$ ч без профилактики и при проведении профилактики.

Решение. 1. $\tau_{T.O} = \sqrt{2 T_{T.O} / K_{и} \lambda_1 + (1 - K_{и}) \lambda_2} =$
 $= \sqrt{2 \cdot 5 / [0,25 \cdot 3,33 \cdot 10^{-3} + 0,75 \cdot 2 \cdot 10^{-6}] = 110$ ч.

2. Без профилактики

$$K_{Г} = T_0 / (T_0 + T_p) = 300 / 306 = 0,98;$$

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

3. С профилактикой $K_{Г,п} = 700 / 706 = 0,991;$

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

6.3. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О КОМПЛЕКТАЦИИ РЭА ЗИПом

Одним из основных условий успешного проведения технического обслуживания и повышения ремонтпригодности аппаратуры является обеспечение ее необходимым комплектом запасных имущества и принадлежностей (ЗИП). Комплект ЗИПа должен содержать все необходимые в процессе эксплуатации элементы. Иногда отсутствие необходимых элементов в комплектах ЗИПа намного увеличивает время ремонта аппаратуры. Однако создание чрезмерных размеров ЗИПа экономически нерационально, так как при этом замораживаются огромные средства и зачастую дефицитные элементы. Так, годовая стоимость ЗИПа для цветных телевизоров составляет примерно 40% стоимости работ по их техническому обслуживанию и ремонту. Следовательно, правильное комплектование ЗИПом, оптимизация его по стоимости являются важной проблемой при решении вопросов ремонтпригодности и технического обслуживания РЭА.

ЗИПы разделяются на комплекты: одиночный и групповой.

Одиночный комплект ЗИПа придается определенному изделию и предназначается для обеспечения только данного изделия.

Групповой комплект ЗИПа придается группе изделий и предназна-

чается для пополнения одиночных комплектов ЗИПа и обеспечения изделий теми элементами, которых нет в одиночном комплекте ЗИПа.

При эксплуатации аппаратуры комплекты ЗИПа пополняются: одиночный за счет группового, а групповой за счет элементов, хранящихся на специальном складе или имеющихся в соответствующем органе снабжения.

В процессе эксплуатации неремонтируемые элементы, блоки, узлы после отказа списываются.

Ремонтируемые элементы аппаратуры ремонтируют (либо на месте эксплуатации обслуживающим персоналом, либо в специальных ремонтных органах) для последующего пополнения ЗИПа.

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

нормальная схема, когда имеются одиночный и групповой комплекты ЗИПа;

одиночная схема, когда отсутствует групповой комплект ЗИПа;

групповая схема, когда отсутствуют одиночные комплекты ЗИПа.

Для бытовой РЭА характерна групповая схема обеспечения ЗИПом. При отказе аппаратуры ее неисправный элемент заменяют из группового ЗИПа. Отсутствие в ЗИПе некоторых элементов, которые были израсходованы, приводит к увеличению среднего времени ремонта, которое состоит из трех компонентов:

$$T_{т.р} = T_p + T_a + T_{сн},$$

где T_p – средняя оперативная продолжительность ремонта; T_a – административное время при текущем ремонте; $T_{сн}$ – среднее время простоя из-за отсутствия в ЗИПе необходимых элементов (время снабжения).

ЗИП непосредственно влияет на коэффициент готовности аппаратуры:

$$K_G = T_0 / (T_0 + T_p + T_a + T_{сн}).$$

Обозначив $T_p + T_a = T_H$, получим

$$K_G = T_0 / (T_0 + T_H + T_{сн}), \quad (6.21)$$

где T_H – среднее время ремонта при неограниченном комплекте ЗИПа, т.е. когда отсутствуют задержки в снабжении.

После преобразований выражение (6.21) будет иметь вид

$$K_G = [T_0 / (T_0 + T_H)] (T_0 + T_H) / (T_0 + T_H + T_{сн}) = K_{Г.н} K_{Об}, \quad (6.22)$$

где $K_{Г.н}$ – коэффициент готовности аппаратуры при неограниченном комплекте ЗИПа; $K_{Об}$ – коэффициент обеспеченности аппаратуры запасными элементами.

Из выражения (6.22) видно, что коэффициент обеспеченности аппаратуры ЗИПом существенно влияет на коэффициент готовности аппаратуры и показывает степень его уменьшения в результате расходования ЗИПа. ЗИП необходим как для текущего, так и для профилактического ремонта.

Для бытовой РЭА коэффициент обеспеченности ЗИПом заметно

влияет на срок ремонта, качество технического обслуживания, на рост объемов реализации услуг населению и, следовательно, на повышение качества обслуживания населения.

Номенклатура элементов, закладываемых в ЗИП, определяется из общей численности данного вида аппаратуры и от принятой системы ремонта. В силу того, что при ремонте и техническом обслуживании бытовой РЭА проводится замена ремонтируемых и неремонтируемых элементов, номенклатура ЗИПа должна содержать те и другие элементы.

При отказе аппаратуры неисправный элемент аппаратуры заменяется на исправный из состава ЗИПа. В связи с этим в комплекте ЗИПа некоторое время отсутствует необходимый исправный элемент, который поставляется из соответствующего органа снабжения или ремонтного завода. Время отсутствия необходимого элемента в комплекте запасных элементов принято называть временем ремонта элемента ЗИПа. Это время состоит из времени доставки исправного элемента из органа снабжения или ремонта и времени ожидания замены или ремонта.

6.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКТА ЗАПАСНЫХ РЕМОНТИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Так как процесс отказов элементов аппаратуры является случайным, т.е. достоверно нельзя предсказать, какой элемент и в какое время откажет, комплект запасных элементов должен обеспечить аппаратуру всеми типами элементов с определенной вероятностью.

Снабжение аппаратуры ЗИПом имеет массовый характер, что позволяет при рассмотрении процесса обеспечения использовать математический аппарат теории массового обслуживания при следующих предположениях.

1. Имеется система обслуживания запасными элементами, состоящая из большого количества однотипных элементов комплекта ЗИПа. В систему на обслуживание поступает неограниченный простейший поток требований, состоящий из трех простейших потоков:

поток отказов элементов аппаратуры, находящейся во включенном состоянии, с параметрами потока отказов

$$\Lambda_1 = m\lambda_1,$$

где m – количество элементов данного типа; λ_1 – интенсивность отказов элементов данного типа при нахождении их под током;

поток отказов элементов аппаратуры, находящейся в выключенном состоянии, с параметрами потока отказов

$$\Lambda_2 = m\lambda_2,$$

где λ_2 – интенсивность отказов элементов данного типа при нахождении их в обесточенном состоянии;

поток отказов элементов комплекта ЗИПа с параметром потока отказов

$$\Lambda_3 = n_3 \lambda_3,$$

где n_3 – количество элементов данного типа в ЗИПе; λ_3 – интенсивность отказов элементов данного типа при хранении в комплекте ЗИПа.

Соотношение между временем включенного и выключенного состояний характеризуется коэффициентом интенсивности эксплуатации $K_{и}$, определяемым формулой (6.14).

Тогда при наличии запасных элементов этого типа суммарный поток отказов

$$\Lambda_c = K_{и} \Lambda_1 + (1 - K_{и}) \Lambda_2 + \Lambda_3. \quad (6.23)$$

2. При поступлении потока требований от аппаратуры или от ЗИПа на запасной элемент оно немедленно удовлетворяется одним из свободных элементов ЗИПа. При отсутствии такового система принимает на обслуживание очередное требование, но при этом возникает определенная вероятность простоя аппаратуры в ожидании ремонта.

3. Каждый элемент комплекта ЗИПа может одновременно обслуживать только одно требование. Время обслуживания одного требования одним элементом ЗИПа подчинено экспоненциальному закону с математическим ожиданием времени обслуживания $T_{об}$

4. В каждый момент времени система обеспечения аппаратуры одним типом запасных элементов может находиться в одном из следующих состояний:

- 1) в комплекте ЗИПа имеются все элементы;
- 2) в комплекте ЗИПа отсутствует один элемент;
- 3) заняты два элемента комплекта ЗИПа;

-
- n*) заняты $n_3 - 1$ элементов комплекта ЗИПа;
 - $n + 1$) заняты все n_3 элементов комплекта ЗИПа.

Следовательно, возможно всего $n + 1$ состояний системы обеспечения. Вероятность того, что в момент времени t занято ровно s элементов ЗИПа, определяется как [16]

$$P_s(t) = [(t_p \Lambda_c)^s / s!] (1 - e^{-\nu t})^s e^{-t_p \Lambda_c (1 - e^{-\nu t})}, \quad (6.24)$$

где t_p – среднее время ремонта элемента ЗИПа; $\nu = 1/t_p$ – интенсивность потока ремонта элементов ЗИПа.

Вероятность того, что в момент времени t занято не более n_3 элементов ЗИПа, определяется как сумма вероятностей $n + 1$ несовместных состояний от $s = 0$ до $s = n_3$, тогда

$$P_{s < n_3}(t) = \sum_{s=0}^{n_3} P_s(t) = e^{-t_p \Lambda_c (1 - e^{-\nu t})} \times \sum_{s=0}^{n_3} [(t_p \Lambda_c)^s / s!] (1 - e^{-\nu t})^s. \quad (6.25)$$

Вероятность того, что в момент времени t занято более n_3 элементов ЗИПа (событие, противоположное предыдущему), равна

$$P_{s > n_3}(t) = 1 - \sum_{s=0}^{n_3} P_s(t) = 1 - e^{-t_p \Lambda_c (1 - e^{-\nu t})} \sum_{s=0}^{n_3} [(t_p \Lambda_c)^s / s!] (1 - e^{-\nu t})^s. \quad (6.26)$$

Рассмотрим предельный случай при $t \rightarrow \infty$, тогда

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_{s > n_3}(t) = P_{\Pi}(t) = 1 - e^{-t_p \Lambda_c} \sum_{s=0}^{n_3} (t_p \Lambda_c)^s / s! \quad (6.27)$$

Обозначив $t_p \Lambda_c$ через ρ , запишем

$$P_{\Pi}(\rho) = 1 - e^{-\rho} \sum_{s=0}^{n_3} \rho^s / s! \quad (6.28)$$

Формула (6.28) может быть использована для расчета потребного количества ремонтируемых запасных элементов ЗИПа. Для расчета необходимо задаться допустимой вероятностью простоя бытовой РЭА в ожидании ремонта $P_{\Pi}(\rho)$ и, пользуясь таблицами [16] функции

$$\sum_{s=0}^n e^{-\rho} (\rho^s / s!) \text{ при известном } \rho, \text{ найти значение } n_3.$$

Для наиболее употребительных значений $P_{\Pi}(\rho)$ и ρ в табл. 6.1–6.4 приведены результаты расчета потребного количества ремонтируемых элементов ЗИПа.

Таблица 6.

$$P_{\Pi}(\rho) = 0,15$$

ρ	0,5	1	2	4	6	8	10	20	30
n_3	2	3	4	6	8	10	12	20	30
ρ	40	60	80	100	120	140	160	180	200
n_3	40	60	80	100	116	136	156	176	196

$$P_{\Pi}(\rho) = 0,1$$

ρ	0,5	1	2	4	6	8	10	20	30
n_3	2	3	4	7	9	11	13	23	34
ρ	40	60	80	100	120	140	160	180	200
n_3	46	66	86	106	126	146	166	186	205

Таблица 6.3

$$P_{\Pi}(\rho) = 0,05$$

ρ	0,5	1	2	4	6	8	10	20	30
n_3	3	4	5	8	11	13	15	27	39
ρ	40	60	80	100	120	140	160	180	200
n_3	50	70	90	116	136	156	178	200	222

Таблица 6.4

$$P_{\Pi}(\rho) = 0,01$$

ρ	0,5	1	2	4	6	8	10	20	30
n_3	3	5	6	10	13	15	18	30	44
ρ	40	60	80	100	120	140	160	180	200
n_3	56	80	104	126	150	174	198	222	246

Пример 6.3. Рассчитать число запасных ремонтируемых элементов одной группы для ремонта $N_0 = 2000$ комплектов аппаратуры с $P_{\Pi}(\rho) = 0,05$. Среднее время ремонта элемента ЗИПа $t_p = 50$ ч. Интенсивность отказов элемента этой группы $\lambda = 2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$, коэффициент интенсивности эксплуатации $K_{\text{И}} = 0,5$.

Решение. 1. Пренебрегая отказами аппаратуры в выключенном состоянии и при хранении элементов ЗИПа, получим

$$\Lambda_c = K_{\text{И}} \lambda N_0 = 0,5 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \cdot 2 \cdot 10^3 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1},$$

$$2. \rho = t_p \Lambda_c = 50 \text{ ч} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ ч}^{-1} = 1.$$

3. По табл. 6.4 при $P_{\Pi}(\rho) = 0,05$ и $\rho = 1$ находим $n_3 = 4$.

6.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОМПЛЕКТА ЗАПАСНЫХ НЕРЕМОНТИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для неремонтируемых запасных элементов ЗИПа, т.е. когда $t_p \rightarrow \infty$, а $\nu \rightarrow 0$, после подстановки $t_p = \infty$ ($\nu = 0$) в формулу (6.26) и раскрытия неопределенности типа "0 - ∞ ", получим

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} (P_{s > n_3}(t)) = P_{II}(t) = 1 - e^{-\Lambda_c t} \sum_{s=0}^{n_3} (\Lambda_c t)^s / s! \quad (6.29)$$

В выражении (6.29) значение $\Lambda_c t$ есть математическое ожидание числа запасных элементов за время эксплуатации t . Убедимся в этом. Пусть система (устройство) имеет интенсивность отказов Λ_c . Распределение плотности вероятности времени безотказной работы $f(t)$ при экспоненциальном законе распределения отказов имеет вид

$$f(t) = \Lambda_c e^{-\Lambda_c t} = (1/T_0) e^{-t/T_0}.$$

Система должна выполнять заданные функции в течение времени t (предполагаемый период эксплуатации). За это время в системе может произойти случайное число отказов n , обусловленное ненадежностью ее отдельных элементов. Вместо отказавшего элемента каждый раз из запаса изымается новый элемент, поэтому число израсходованных элементов n_3 за время t будет равно числу отказов n .

При этих условиях вероятность того, что за время t система потребует точно n_3 запасных элементов, определится по формуле Пуассона

$$P_3(t) = [(\Lambda_c t)^{n_3} / n_3!] e^{-\Lambda_c t}, \quad (6.30)$$

где $\Lambda_c t$ - математическое ожидание числа запасных элементов за время эксплуатации t .

Действительно, по определению математического ожидания

$$M_n = n_{cp} = \sum_{n=0}^{\infty} n_3 P_3(t) = \sum_{n_3=0}^{\infty} [n_3 (\Lambda_c t)^{n_3} / n_3!] e^{-\Lambda_c t}. \quad (6.31)$$

Первый член суммы в выражении (6.31) при $n_3 = 0$ равен нулю. Следовательно, равенство (6.31) целесообразно преобразовать к следующему виду:

$$n_{cp} = \Lambda_c t e^{-\Lambda_c t} \sum_{n_3=1}^{\infty} (\Lambda_c t)^{n_3-1} / (n_3-1)!,$$

$$\text{так как } \sum_{n=0}^{\infty} n(x)^n / n! = x \sum_{n=1}^{\infty} x^{n-1} / (n-1)!,$$

Обозначим $n - 1 = k$, тогда

$$n_{cp} = \Lambda_c t e^{-\Lambda_c t} \sum_{k=0}^{\infty} (\Lambda_c t)^k / k! = \Lambda_c t e^{-\Lambda_c t} e^{\Lambda_c t} = \Lambda_c t. \quad (6.32)$$

Следовательно, выражение (6.29) можно записать в виде

$$(P_{II}(t)) = 1 - e^{-n_{cp}} \sum_{s=0}^{n_3} n_{cp}^s / s!. \quad (6.33)$$

Задавшись допустимой вероятностью простоя $P_{II}(t)$, а также значением времени эксплуатации t и зная Λ_c , найдем n_{cp} , а затем по формуле (6.33) и n_3 . Но при больших значениях ($n_{cp} > 20$) расчет n_3 по формуле (6.33) становится громоздким и неудобным.

Для упрощения расчетов введем понятие коэффициента запаса

$$k_3 = n_3 / n_{cp}. \quad (6.34)$$

Тогда

$$n_3 = n_{cp} k_3. \quad (6.35)$$

Для расчета k_3 при различных значениях $P_{II}(t)$ можно использовать приближенные формулы. Ниже приводятся формулы для расчета k_3 при различных значениях.

Для $P_{II}(t) = 0,15$:

$$\left. \begin{aligned} k_3 (4 < n_{cp} \leq 20) &= (1,6 + 1,1 n_{cp}) / n_{cp}; \\ k_3 (20 < n_{cp} \leq 70) &= (1,8 + 1,08 n_{cp}) / n_{cp}; \\ k_3 (n_{cp} > 70) &= (3 + 1,03 n_{cp}) / n_{cp}. \end{aligned} \right\} \quad (6.36)$$

Для $P_{II}(t) = 0,1$:

$$\left. \begin{aligned} k_3 (4 < n_{cp} \leq 20) &= (1,8 + 1,15 n_{cp}) / n_{cp}; \\ k_3 (20 < n_{cp} \leq 70) &= (2 + 1,1 n_{cp}) / n_{cp}; \\ k_3 (n_{cp} > 70) &= (5 + 1,05 n_{cp}) / n_{cp}. \end{aligned} \right\} \quad (6.37)$$

Для $P_{II}(t) = 0,05$:

$$\left. \begin{aligned} k_3 (4 < n_{cp} \leq 20) &= (2 + 1,24 n_{cp}) / n_{cp}; \\ k_3 (20 < n_{cp} \leq 70) &= (5 + 1,12 n_{cp}) / n_{cp}; \\ k_3 (n_{cp} > 70) &= (10 + 1,06 n_{cp}) / n_{cp}. \end{aligned} \right\} \quad (6.38)$$

Для $P_{II}(t) = 0,01$:

$$\left. \begin{aligned} k_3 (4 < n_{cp} \leq 20) &= (3,5 + 1,4 n_{cp}) / n_{cp}; \\ k_3 (20 < n_{cp} \leq 70) &= (10 + 1,2 n_{cp}) / n_{cp}; \\ k_3 (n_{cp} > 70) &= (15 + 1,1 n_{cp}) / n_{cp}. \end{aligned} \right\} \quad (6.39)$$

Обычно ремонтный орган бытовой РЭА ведет ремонт большого количества однотипной аппаратуры, и, следовательно, требуемое коли-

чество запасных элементов по каждому типу аппаратуры велико, т.е. можно в большинстве случаев считать $n_{\text{ср}} > 70$.

Ниже приведены значения k_3 для различных $P_{\text{п}}(t)$ при $n_{\text{ср}} = 100$:

$P_{\text{п}}(t)$	0,5	0,4	0,3	0,2	0,15	0,1	0,05	0,01
k_3	1	1,02	1,03	1,04	1,06	1,1	1,16	1,25

Очевидно, что при значениях $P_{\text{п}}(t) > 0,15$ коэффициент запаса близок к единице и расчет необходимого количества запасных неремонтируемых элементов можно вести по формуле

$$n_3 \approx n_{\text{ср}} = \Lambda_{\text{с}} t. \quad (6.40)$$

Если расчет необходимого числа запасных элементов проводится для аппаратуры, интенсивность отказов которой оценена по небольшому объему статистических данных, необходимо вместо величины $\Lambda_{\text{с}}$ использовать ее верхнюю доверительную границу, определяемую по методике, приведенной в гл. 4.

Рассмотренные выше формулы позволяют рассчитать количество запасных элементов определенного типа (ремонтируемых и неремонтируемых) с заданной вероятностью простоя аппаратуры. Если в аппаратуре имеется несколько групп элементов, то для определения их числа необходимо разделить общую вероятность простоя по группам элементов. При равном вкладе всех групп элементов в общую вероятность простоя аппаратуры из-за отсутствия ЗИПа на основании формулы полной вероятности

$$P_{\text{об}} = \sum_{i=1}^k P_{\text{п}i} q_i, \quad (6.41)$$

где $P_{\text{об}}$ — общая вероятность простоя; $P_{\text{п}i}$ — вероятность простоя из-за отсутствия запасного элемента i -й группы; q_i — вероятность отказа элемента i -й группы.

Часто на практике бывает удобнее не пользоваться непосредственно формулой (6.41), а переходить к противоположному событию и вычислять вероятность выполнения аппаратурой своих функций при наличии ЗИПа. Тогда

$$P_s(t) = 1 - P_{\text{об}} = \prod_{i=1}^k (1 - P_{\text{п}i}) = \prod_{i=1}^k P_{s_i}(t). \quad (6.42)$$

Пример 6.4. 100 комплектов ($N_0 = 100$) однотипной аппаратуры предполагается эксплуатировать в течение $t = 3000$ ч. Каждый комплект аппаратуры содержит: микромодулей $N_1 = 6$ шт., ИМС $N_2 = 15$ шт., полупроводниковых приборов $N_3 = 10$ шт.

В результате предварительных испытаний элементов получены следующие статистические данные по интенсивности отказов элементов: $\lambda_1 = 9 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_3 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

Определить число n_3 запасных элементов отдельно по всем элементам, если требуется гарантированная вероятность работы системы за счет элементов каждого типа $P_c(t) = 0,95$. Определить гарантийную вероятность работоспособности системы при полном использовании всех запасных элементов.

Решение. 1. Находим

$$\Lambda_1 = N_0 N_1 \lambda_1 = 100 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 10^{-5} = 0,54;$$

$$\Lambda_2 = 100 \cdot 15 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 1,2 \cdot 10^{-3};$$

$$\Lambda_3 = 100 \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-5} = 1,6 \cdot 10^{-2}.$$

2. Определяем среднее число запасных элементов:

$$n_{ср1} = \Lambda_1 t = 0,54 \cdot 3 \cdot 10^3 = 162 \text{ (микромодуля);}$$

$$n_{ср2} = \Lambda_2 t = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3 = 4 \text{ (ИМС);}$$

$$n_{ср3} = \Lambda_3 t = 1,6 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^3 = 48 \text{ (полупроводниковых приборов).}$$

3. По формуле (6.38) рассчитываем

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

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

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

4. Находим

$$n_{31} = n_{ср1} k_{31} = 162 \cdot 1,12 = 181 \text{ (микромодуль);}$$

$$n_{32} = n_{ср2} k_{32} = 4 \cdot 1,74 = 7 \text{ (ИМС);}$$

$$n_{33} = n_{ср3} k_{33} = 48 \cdot 1,22 = 58 \text{ (полупроводниковых приборов).}$$

5. Определяем гарантийную вероятность работоспособности системы при полном использовании всех запасных элементов (система не будет простаивать из-за отсутствия любого указанного типа элементов):

$$P_r(t) = P_s^3(t) = 0,95^3 = 0,86.$$

Таким образом, работоспособность системы в результате обеспечения запасными элементами будет гарантирована на 86%. При $n_3 = n_{ср} P_r(t) = 0,5^3 \approx 0,13$.

Пример 6.5. Рассчитать число запасных элементов с $P_s(t) = 0,9$ для ремонта $N_0 = 1000$ комплектов аппаратуры в течение гарантированного срока $t = 8760$ ч. В аппаратуре имеется: полупроводниковых приборов $N_1 = 30$ шт., ИМС $N_2 = 10$ шт., резисторов $N_3 = 160$ шт., конденсаторов $N_4 = 100$ шт.

В результате предварительных испытаний по небольшому объему статистических данных получены следующие значения интенсивности отказов:

$$\lambda_1 = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \text{ по } n_1 = 80 \text{ образцам;}$$

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1} \text{ по } n_2 = 60 \text{ образцам;} \\ \lambda_3 &= 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \text{ по } n_3 = 160 \text{ образцам;} \\ \lambda_4 &= 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \text{ по } n_4 = 100 \text{ образцам.} \end{aligned}$$

Решение. 1. Находим $\lambda_B = \lambda/r_2$:

$$\begin{aligned} \lambda_{1B} &= 1,5 \cdot 10^{-5} / 0,87 = 1,7 \cdot 10^{-5}; \\ \lambda_{2B} &= 0,3 \cdot 10^{-6} / 0,86 = 0,35 \cdot 10^{-6}; \\ \lambda_{3B} &= 0,8 \cdot 10^{-5} / 0,9 = 0,89 \cdot 10^{-5}; \\ \lambda_{4B} &= 0,1 \cdot 10^{-5} / 0,88 = 0,11 \cdot 10^{-5}. \end{aligned}$$

2. Находим Λ для каждой группы элементов:

$$\begin{aligned} \Lambda_1 &= N_0 N_1 \lambda_{1B} = 1000 \cdot 30 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} = 0,51; \\ \Lambda_2 &= N_0 N_2 \lambda_{2B} = 1000 \cdot 10 \cdot 0,35 \cdot 10^{-6} = 3,5 \cdot 10^{-3} \\ \Lambda_3 &= N_0 N_3 \lambda_{3B} = 1000 \cdot 160 \cdot 0,89 \cdot 10^{-5} = 1,42; \\ \Lambda_4 &= N_0 N_4 \lambda_{4B} = 1000 \cdot 100 \cdot 0,114 \cdot 10^{-5} = 0,11. \end{aligned}$$

3. Определяем среднее число запасных элементов:

$$\begin{aligned} n_{ср1} &= \Lambda_1 t = 0,51 \cdot 8760 = 4468 \text{ (полупроводниковых приборов);} \\ n_{ср2} &= \Lambda_2 t = 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 8760 = 30 \text{ (ИМС);} \\ n_{ср3} &= \Lambda_3 t = 1,42 \cdot 8760 = 12\,439 \text{ (резисторов);} \\ n_{ср4} &= \Lambda_4 t = 0,11 \cdot 8760 = 964 \text{ (конденсатора).} \end{aligned}$$

4. Рассчитываем k_3 по формуле (6.37):

$$\begin{aligned} k_{31} &= k_{33} = k_{34} = (5 + 1,05 \cdot 4467) / 4468 = 1,05; \\ k_{32} &= (2 + 1,1 \cdot 30) / 30 = 1,17. \end{aligned}$$

5. Находим n_3 :

$$\begin{aligned} n_{31} &= k_{31} n_{ср1} = 1,05 \cdot 4468 = 4691 \text{ (полупроводниковый прибор);} \\ n_{32} &= k_{32} n_{ср2} = 1,17 \cdot 30 = 35 \text{ (ИМС);} \\ n_{33} &= k_{33} n_{ср3} = 1,05 \cdot 12439 = 13060 \text{ (резисторов);} \\ n_{34} &= k_{34} n_{ср4} = 1,05 \cdot 964 = 10122 \text{ (конденсатора).} \end{aligned}$$

6. Гарантийная вероятность работоспособности системы при полном использовании всех запасных элементов (система не будет простаивать из-за отсутствия любого из указанных элементов):

$$P_r(t) = P_s^4(t) = 0,9^4 = 0,656$$

при $n_3 = n_{ср} P_{ср}(t) = 0,5^4 = 0,063$.

Пример 6.6. $N_0 = 10\,000$ комплектов однотипной аппаратуры предполагается эксплуатировать в течение $t = 5000$ ч. Каждый комплект аппаратуры содержит неремонтируемых элементов:

$$\text{типа А } N_1 = 5 \text{ шт. с } \lambda_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1};$$

типа Б $N_2 = 10$ шт. с $\lambda_2 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$;

типа В $N_3 = 8$ шт. с $\lambda_3 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

Кроме того, имеется три типа ремонтируемых элементов:

типа Г $N_4 = 2$ шт. с $\lambda_4 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ и $t_{p4} = 50$ ч;

типа Д $N_5 = 1$ шт. с $\lambda_5 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ и $t_{p5} = 70$ ч;

типа Е $N_6 = 3$ шт. с $\lambda_6 = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$ и $t_{p6} = 36$ ч.

Определить число n_3 запасных элементов отдельно по всем элементам, если требуется гарантированная вероятность работы аппаратуры за счет неремонтируемых элементов каждого типа $P_{s1}(t) = 0,99$, а за счет ремонтируемых элементов каждого типа $P_{s2}(t) = 0,95$. Определить вероятность выполнения аппаратурой в целом своих функций при наличии ЗИПа.

Решение. 1. Определим среднее число запасных неремонтируемых элементов:

$$n_{ср1} = \lambda_1 N_0 N_1 t = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 10^3 = 1000;$$

$$n_{ср2} = \lambda_2 N_0 N_2 t = 5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^3 = 2500;$$

$$n_{ср3} = \lambda_3 N_0 N_3 t = 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 10^3 = 6400.$$

2. При $P_{п}(t) = 1 - P_{s1}(t) = 0,01$ по формуле (6.37) находим

$$k_{31} = (15 + 1,1 \cdot 1000)/1000 = 1,115;$$

$$k_{32} = (15 + 1,1 \cdot 2500)/2500 = 1,106;$$

$$k_{33} = (15 + 1,1 \cdot 6400)/6400 = 1,102.$$

3. Находим n_3 для неремонтируемых элементов:

$$n_{31} = k_{31} n_{ср1} = 1,115 \cdot 1000 = 1115;$$

$$n_{32} = k_{32} n_{ср2} = 1,106 \cdot 2500 = 2765;$$

$$n_{33} = k_{33} n_{ср3} = 1,102 \cdot 6400 = 7053.$$

4. Находим суммарные интенсивности отказов для ремонтируемых элементов:

$$\Lambda_4 = \lambda_4 N_0 N_4 = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4 \cdot 2 = 0,4;$$

$$\Lambda_5 = \lambda_5 N_0 N_5 = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 \cdot 1 = 0,03;$$

$$\Lambda_6 = \lambda_6 N_0 N_6 = 1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 10^4 \cdot 3 = 3,9.$$

5. Рассчитываем ρ :

$$\rho_4 = t_{p4} \Lambda_4 = 50 \cdot 0,4 = 20;$$

$$\rho_5 = t_{p5} \Lambda_5 = 70 \cdot 0,03 = 2,1;$$

$$\rho_6 = t_{p6} \Lambda_6 = 36 \cdot 3,9 = 140.$$

6. По табл. 6.3 при $P_{п}(\rho) = 0,05$ находим $n_{34} = 27$, $n_{35} = 5$, $n_{36} = 146$.

7. Определяем вероятность выполнения аппаратурой своих функций:

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^3 P_{s1i} \prod_{i=1}^3 P_{s2i} = 0,99^3 \cdot 0,95^3 = 0,832.$$

Пример 6.7. Эксплуатируется $N_0 = 6000$ комплектов аппаратуры в состав каждого из них входит четыре группы ремонтируемых элементов. Интенсивность отказов каждой группы имеет следующие значения: $\lambda_1 = 2,3 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 1,4 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_3 = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_4 = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$. Рассчитать число запасных ремонтируемых элементов, если допустимая вероятность простоя аппаратуры $P_{\Pi}(\rho) = 0,04$. Среднее время ремонта элементов ЗИПа $t_{p1} = 72 \text{ ч}$, $t_{p2} = 70 \text{ ч}$, $t_{p3} = 94 \text{ ч}$, $t_{p4} = 48 \text{ ч}$.

Решение. 1. В соответствии с формулой (6.42) получим $P_s(t) = 1 - P_{\Pi}(\rho) = 1 - 0,04 = 0,96 = \prod_{i=1}^4 P_{Si}(t)$, откуда $P_{S1} = P_{S2} = P_{S3} = P_{S4} = 0,99$. Следовательно,

$$P_{\Pi 1}(\rho) = P_{\Pi 2}(\rho) = P_{\Pi 3}(\rho) = P_{\Pi 4}(\rho) = 0,01.$$

$$2. \Lambda_1 = \lambda_1 N_0 = 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot 6000 = 1,38 \cdot 10^{-2};$$

$$\Lambda_2 = \lambda_2 N_0 = 1,4 \cdot 10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^3 = 8,4 \cdot 10^{-2};$$

$$\Lambda_3 = \lambda_3 N_0 = 1,6 \cdot 10^{-4} \cdot 6 \cdot 10^3 = 0,96;$$

$$\Lambda_4 = \lambda_4 N_0 = 1,8 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^3 = 1,08 \cdot 10^{-2}.$$

$$3. \rho_1 = t_{p1} \Lambda_1 = 72 \cdot 1,38 \cdot 10^{-2} = 1,0;$$

$$\rho_2 = 70 \cdot 8,4 \cdot 10^{-2} = 6; \quad \rho_3 = 94 \cdot 0,96 = 90;$$

$$\rho_4 = 48 \cdot 1,08 \cdot 10^{-2} = 0,5.$$

$$4. \text{ По табл. 6.4 находим } n_{31} = 5, n_{32} = 13, n_{33} = 116, n_{34} = 3.$$

6.6. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

6.6.1. Нарботка на отказ профилактируемого устройства $\bar{T}_{0,п} = 8650 \text{ ч}$. Среднее время ремонта $\bar{T}_p = 5 \text{ ч}$, среднее время одной профилактики $\bar{T}_{т,о} = 14 \text{ ч}$. Определить $\tau_{т,о}$, а также $K_{т,и}$ за год эксплуатации.

О т в е т. $\tau_{т,о} = 490 \text{ ч}$; $K_{т,и} = 0,971$.

6.6.2. Радиоэлектронное устройство имеет интенсивность отказов $\lambda = 5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Закон распределения отказов экспоненциальный. При проведении профилактических работ длительностью $\bar{T}_{т,о} = 10 \text{ ч}$ наработка на отказ составила 5000 ч. Среднее время ремонта $\bar{T}_p = 12 \text{ ч}$. Определить $\tau_{т,о}$, а также $K_{т}$ и $K_{о,г}$ для $t = 10 \text{ ч}$ без профилактики и при проведении профилактики.

О т в е т. $\tau_{т,о} = 320 \text{ ч}$. Без профилактики $K_{т} = 0,994$; $K_{о,г} = 0,989$. При проведении профилактики $K_{т} = 0,998$; $K_{о,г} = 0,996$.

6.6.3. В состав одного комплекта аппаратуры входит две груп-

пы неремонтируемых элементов с интенсивностями отказов каждой группы $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, а также три группы ремонтируемых элементов с интенсивностями отказов каждой группы: $\lambda_3 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_4 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_5 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Рассчитать число запасных элементов при эксплуатации $N_0 = 5000$ комплектов аппаратуры, если допустимая вероятность простоя аппаратуры $P_{\text{п}}(\rho) = 0,2$. Среднее время ремонта элементов ЗИПа: $t_{\text{р3}} = 60 \text{ ч}$, $t_{\text{р4}} = 48 \text{ ч}$, $t_{\text{р5}} = 70 \text{ ч}$, $t = 4000 \text{ ч}$.

О т в е т. $n_{31} = 116, n_{32} = 180, n_{33} = 17, n_{34} = 3, n_{35} = 52$.

6.6.4. Рассчитать число запасных неремонтируемых элементов с $P_c(t) = 0,95$ для технического обслуживания и ремонта $N_0 = 3000$ комплектов аппаратуры в течение гарантийного срока $t = 8700 \text{ ч}$. В аппаратуре имеется: микромодулей $N_1 = 5$ шт., полупроводниковых приборов $N_2 = 15$ шт., ИМС $N_3 = 8$ шт., резисторов $N_4 = 100$ шт., конденсаторов $N_5 = 60$ шт.

Элементы имеют следующие интенсивности отказов:

$$\lambda_1 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}, \lambda_2 = 3 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}, \lambda_3 = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ ч}^{-1},$$

$$\lambda_4 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}, \lambda_5 = 0,8 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}.$$

О т в е т. $n_{31} = 2167, n_{32} = 12450, n_{33} = 40, n_{34} = 44266, n_{35} = 13280$.

Гарантированная вероятность работоспособности аппаратуры $P_{\text{Г}}(t) = 0,774$.

6.6.5. Однотипная аппаратура в составе $N_0 = 5000$ комплектов эксплуатируется в течение $t = 4000 \text{ ч}$. Каждый комплект аппаратуры содержит:

неремонтируемых элементов:

$$1\text{-го типа } N_1 = 12 \text{ шт. с } \lambda_1 = 0,6 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1};$$

$$2\text{-го типа } N_2 = 8 \text{ шт. с } \lambda_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1};$$

$$3\text{-го типа } N_3 = 50 \text{ шт. с } \lambda_3 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1};$$

$$4\text{-го типа } N_4 = 40 \text{ шт. с } \lambda_4 = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1};$$

$$5\text{-го типа } N_5 = 60 \text{ шт. с } \lambda_5 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1};$$

ремонтируемых элементов:

$$6\text{-го типа } N_6 = 3 \text{ шт. с } \lambda_6 = 0,4 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \text{ и } t_{\text{р6}} = 48 \text{ ч};$$

$$7\text{-го типа } N_7 = 2 \text{ шт. с } \lambda_7 = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ ч}^{-1} \text{ и } t_{\text{р7}} = 72 \text{ ч};$$

$$8\text{-го типа } N_8 = 4 \text{ шт. с } \lambda_8 = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1} \text{ и } t_{\text{р8}} = 60 \text{ ч};$$

$$9\text{-го типа } N_9 = 5 \text{ шт. с } \lambda_9 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1} \text{ и } t_{\text{р9}} = 64 \text{ ч}.$$

Определить число запасных элементов отдельно по всем элементам, если требуется гарантированная вероятность работы всей аппаратуры $P_{\text{Г}}(t) = 0,9$.

О т в е т. $n_{31} = 2654, n_{32} = 354, n_{33} = 8824, n_{34} = 9680, n_{35} = 3960,$
 $n_{36} = 8, n_{37} = 4, n_{38} = 16, n_{39} = 47$.

Глава 7. ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА БЫТОВОЙ РЭА

7.1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ И ПРАВИЛА ФИРМЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БЫТОВОЙ РЭА

Фирменное техническое обслуживание бытовой РЭА является составной частью комплекса взаимосвязанных мероприятий, реализуемых изготовителями аппаратуры и включающих в себя программы улучшения потребительских качеств бытовой РЭА, совершенствования процесса ее создания и производства, транспортирования, предпродажной подготовки и продажи, гарантийного обслуживания, платного технического обслуживания, ремонта и утилизации.

Сервисный комплекс по обслуживанию и ремонту бытовой РЭА включает производственные объединения, предприятия по ремонту аппаратуры, специальные предприятия по ремонту узлов и блоков, централизованные склады запасных частей, технические центры по обслуживанию и ремонту бытовой РЭА (ТЦ), техноторговые центры (ТТЦ) и фирменные магазины, а также учебные центры по подготовке специалистов.

Основной задачей фирменного технического обслуживания является приемка бытовой РЭА от заводов-изготовителей при поступлении ее после транспортирования в торговую сеть и принятие на себя полной ответственности за качество поступаемой в продажу аппаратуры, за предоставление максимальных удобств населению при приобретении и эксплуатации бытовой РЭА и поддержанию парка аппаратуры в работоспособном состоянии в течение всего срока службы с установленной жесткой материальной ответственностью обслуживающих предприятий перед владельцами аппаратуры за своевременное и качественное выполнение работ.

Предприятия, осуществляющие фирменное техническое обслуживание, осуществляют следующие функции:

приемку, предпродажную подготовку и электропробег, обеспечивающий качественную работу всей аппаратуры, поступающей для реализации;

продажу бытовой РЭА, сопутствующих товаров и запасных частей, изучение и формирование спроса на них;

доставку стационарной, бытовой РЭА к месту установки в районе действия ТТЦ (ТЦ);

установку бытовой РЭА на месте ее эксплуатации и проведение инструктажа владельцев по правилам эксплуатации аппаратуры;

фирменное техническое обслуживание и профилактические осмотры бытовой РЭА в течение гарантийного срока эксплуатации;

техническое обслуживание в послегарантийный период, как правило, по принципу фирменного абонемента, сокращающего проведение работ за наличный расчет с владельцами;

выдачу аппаратуры в фирменный прокат, ее техническое обслуживание;

прием от владельцев, восстановление до работоспособного состояния аппаратуры, замененной по действующим Правилам обмена промышленных товаров и ее реализацию;

прием от населения и отправку аппаратов на предприятия, осуществляющие их утилизацию;

ремонт модулей, блоков и узлов, снятых с аппаратуры;

сбор и обработку данных об отказах обслуживаемой бытовой РЭА, представление предприятиям-изготовителям предложений по совершенствованию выпускаемой аппаратуры;

установку телевизионных приемных антенн индивидуального пользования, техническое обслуживание антенн коллективного приема телевизионных программ (кроме крупных систем и систем кабельного телевидения).

Фирменная реализация и техническое обслуживание бытовой РЭА осуществляются через сеть ТТЦ и ТЦ, входящих в состав республиканских, краевых и областных производственных (техноторговых) объединений (предприятий), которые в свою очередь могут быть объединены в государственные региональные, техноторговые (производственные) объединения. Допускается реализация бытовой РЭА через фирменные магазины-салоны, а ее обслуживание — техническими центрами.

Техноторговые и технические центры создаются при предприятиях как изготавливающих бытовую РЭА, так и не изготавливающих ее.

Техноторговые центры предприятий-изготовителей осуществляют фирменное техническое обслуживание по ограниченному парку аппаратуры, выпускаемой своим предприятием. На эти центры возлагаются задачи по реализации и техническому обслуживанию первых партий новых моделей бытовой РЭА, выпущенных предприятием, изучению конъюнктуры спроса на нее, обучение устройству, фирменному обслуживанию новых моделей аппаратуры инженерно-техническим персоналом других ТТЦ и ТЦ страны, разработке необходимых приспособлений для технического обслуживания своих новых аппаратов, передаче опыта другим ТТЦ и ТЦ.

Техническое обслуживание и ремонт бытовой РЭА в послегарантийный период эксплуатации могут осуществляться кооперативами, создаваемыми при предприятиях или исполкомах местных Советов.

Предпродажной подготовке подвергают всю аппаратуру, предназначенную для розничной продажи. Она проводится в соответствии с Типовым договором на проведение предпродажной подготовки или Типовым договором на гарантийное техническое обслуживание и ремонт аппаратуры.

При предпродажной подготовке проверяют состояние упаковки

и внешнего вида, соответствие номеров аппаратуры и комплектующих изделий номерам, указанным в гарантийных талонах. Затем проводят 2-часовой электропрогон аппарата с четырьмя технологическими отключениями продолжительностью не более 15 мин и регистрацию результатов предпродажной подготовки в специальном журнале.

Аппарат считают прошедшим предпродажную подготовку, если он отвечает нормам ТУ в объеме прямо-сдаточных испытаний.

Аппарат, вскрытый в процессе ремонта или регулировки, должен быть опломбирован пломбами ТТЦ (ТЦ). Аппарат, отремонтированный в процессе предпродажной подготовки и соответствующий требованиям ТУ, подлежит продаже. На аппарат, который не может быть восстановлен во время предторгового ремонта, предъявляются претензии установленным порядком.

Результаты проведения предторгового ремонта оформляются актом, один экземпляр которого направляется предприятию-изготовителю.

Оплата работ по предпродажной подготовке осуществляется предприятием-изготовителем за счет доходов торговых предприятий по соглашению с ТТЦ (ТЦ), установленному при заключении договора. Основанием для оплаты является акт о проведении предпродажной подготовки, подписанный представителями сторон.

Оплата работ по повторной предпродажной подготовке или предторговому ремонту проводится предприятием-изготовителем на основании соответствующих актов и счетов по ценам действующего прейскуранта на техническое обслуживание и ремонт бытовой РЭА в послегарантийный период эксплуатации. При этом в счете отдельно указывается стоимость выполненных работ и стоимость израсходованных материальных ценностей.

По желанию владельца ТТЦ обязан доставить приобретенный аппарат на дом. Доставка оплачивается владельцем по действующему прейскуранту. Доставленный аппарат ТТЦ или ТЦ по заявке владельца обязан бесплатно установить, настроить, продемонстрировать его работу, ознакомить владельца с правилами техники безопасности, а также правилами фирменного технического обслуживания и ремонта.

В гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации техническое обслуживание и ремонт, проводимые ТТЦ и ТЦ, должны выполняться в сроки, приведенные в табл. 7.1 (в указанные сроки не входят выходные и праздничные дни).

Техническое обслуживание и ремонт аппаратуры с измененной заводской схемой, аппаратуры иностранных марок, выполняются в сроки по согласованию с заказчиком и ТТЦ (ТЦ).

В помещениях приемных пунктов ТТЦ (ТЦ) в удобном для обозрения месте должны быть следующие документы:

правила технического обслуживания и ремонта бытовой РЭА в периоды гарантийного и послегарантийного сроков ее эксплуатации;

а также подменную аппаратуру транспортом исполнителя, выполняют погрузочные работы, установку и проверку их работоспособности на месте эксплуатации.

Владелец аппаратуры ежемесячно вносит абонементную плату по действующим прейскурантам. По желанию абонента абонементная плата может быть внесена авансом за любое количество месяцев в пределах срока действия договора.

За невыполнение исполнителем по заявке абонента планового профилактического обслуживания в течение годичного срока действия договора абоненту по его требованию возвращается внесенная им за истекший год плата, если за этот период его аппарат не ремонтировался, а при согласии абонента продлить действие договора он освобождается от абонементной платы за следующий годичный срок абонементного обслуживания.

При задержке сроков ремонта и профилактического обслуживания, а также за неявку радиомеханика к абоненту в согласованный день абоненту предоставляется право не вносить абонементную плату за очередной месяц, за исключением случаев, когда абоненту по его требованию на время задержки ремонта предоставлен телевизор из фонда исполнителя.

Исполнитель не несет ответственности за качество работы бытовой РЭА, а необходимый ремонт выполняется исполнителем за отдельную плату согласно действующему прейскуранту, если абонент нарушил правила эксплуатации, требования пожарной безопасности, отремонтировал аппарат сам или силами других предприятий и посторонних лиц.

При неуплате абонентом ежемесячной абонементной платы в течение трех месяцев действие договора прекращается.

На разовое (платное) техническое обслуживание и ремонт принимается любая аппаратура. Аппаратура, которая эксплуатируется более 10 лет, может приниматься в ремонт при наличии запасных частей, узлов, модулей и т.д. Сроки технического обслуживания и ремонта устанавливаются предприятием по согласованию с заказчиком.

Техническое обслуживание и ремонт выполняются за плату по утвержденному прейскуранту. Стоимость заменяемых блоков, узлов, элементов в цены на ремонт не включается, а оплачивается заказчиком отдельно по действующим розничным ценам.

При выполнении по желанию заказчика срочного технического обслуживания и ремонта бытовой РЭА к ценам прейскуранта применяются надбавки в следующих размерах:

при выполнении работ в стационарной мастерской в день приема заказа или при вызове на дом в день вызова радиомеханика — 40%;

при выполнении работ в стационарной мастерской или на дому у заказчика на следующий день после приема заказа или вызова радиомеханика — 30%.

Срочный ремонт на дому у заказчика выполняется при условии ожидания заказчиком начала ремонта (в согласованное время при приеме заказа) не более двух часов.

Если ТТЦ (ТЦ) направляет радиомеханика по индивидуальному заявке на дом к заказчику, проживающему за пределами города (населенного пункта), в котором находится предприятие либо его филиал, то с заказчика взимается дополнительная плата за вызов радиомеханика на дом по ценам, предусмотренным в прейскуранте.

Если после истечения устанавливаемых сроков выпуска запасных частей и деталей, поставляемых заводами-изготовителями для ремонта снятой ими с производства бытовой РЭА, ТТЦ (ТЦ) устанавливает нетиповые детали, то с заказчика сверх цены на ремонт взимается дополнительная плата по ценам, предусмотренным в прейскуранте.

Техническое обслуживание и ремонт аппаратуры иностранного производства выполняются в условиях стационарных мастерских. Оплата этих работ осуществляется:

по радиозлектронной аппаратуре, на которую имеется нормативно-техническая документация (схемы, техническое описание), — по ценам прейскуранта для аппаратов 1-го класса (группы сложности) с применением соответствующих коэффициентов;

по аппаратуре, на которую отсутствует нормативно-техническая документация, — по ценам, согласованным с заказчиком, которые определяются исходя из стоимости нормо-часа и расчетных норм времени;

по ценам, определяемым в разовом порядке по стоимости нормо-часа, оплачиваются работы по техническому обслуживанию и ремонту аппаратуры отечественного производства с измененной схемой, переделанной без соблюдения утвержденных технических требований, с механическими повреждениями, а также другие работы, не предусмотренные прейскурантом.

Доставка аппаратуры в разовый ремонт и из ремонта обеспечивается владельцем.

По желанию владельца на время ремонта в стационарной мастерской принадлежащей ему бытовой РЭА предприятие предоставляет ему на прокат другую аппаратуру данного вида. Стоимость доставки и проката оплачивается владельцем в соответствии с прейскурантом проката и тарифами на транспортные услуги.

Одновременно с выдачей бытовой РЭА из ремонта в стационарной мастерской или после окончания ремонта на дому владельцу аппаратуры выдается окончательно оформленная квитанция к наряду-заказу, в которой указывается объем и стоимость ремонта, а также установленный гарантийный срок на отремонтированную аппаратуру.

При выходе из строя бытовой РЭА в период действия срока гарантии предприятие обязано безвозмездно выполнить повторный ремонт или техническое обслуживание в двухдневный срок с момента обращения.

ция владельца. При этом доставка аппаратуры в стационарную мастерскую осуществляется за счет предприятия.

Претензии по качеству технического обслуживания и ремонта бытовой РЭА заказчик предъявляет по месту приема и выдачи заказа в течение установленного гарантийного срока. Претензии рассматриваются безотлагательно, а требующие дополнительного изучения и проверки — в течение 15 дней.

Взаимные претензии сторон и споры, возникшие между предприятием и потребителем, разрешаются в порядке, предусмотренном действующим законодательством СССР и Правилами бытового обслуживания населения, утвержденными Советами Министров союзных республик.

Утерянную (утраченную) бытовую РЭА предприятие обязано в трехдневный срок заменить таким же изделием либо возместить заказчику ее стоимость, указанную в квитанции, и уплатить неустойку в размере, определяемом законодательством союзных республик.

7.4. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА

Анализ функционирования центров технического обслуживания бытовой РЭА показывает, что совершенствование качества технического обслуживания и ремонтов в значительной мере может быть достигнуто путем:

оптимального согласования производительности предприятий с потоками заявок на ремонт и техническое обслуживание;

повышения безотказности и ремонтпригодности бытовой РЭА в процессе ее разработки и изготовления предприятиями промышленности;

повышения качества технического обслуживания и ремонта бытовой РЭА благодаря внедрению прогрессивных технологических процессов, автоматизации поиска неисправностей, внедрения научно обоснованных объемов и периодичности работ при абонементном обслуживании, обеспечения центров достаточным количеством запасных элементов, повышения квалификации обслуживающего персонала и других мероприятий;

повышения экономической эффективности центров и внедрения прогрессивных форм организации труда.

Контроль качества отремонтированной аппаратуры осуществляется на основе требований государственных стандартов или инструкций по эксплуатации, которые позволяют [34]:

установить общие требования к отремонтированной бытовой РЭА; ввести единые нормы на параметры отремонтированной аппаратуры в зависимости от ее класса;

обеспечить проведение измерений параметров РЭА по единой мето-

дике с учетом контроля качества и пригодности проведения измерений в ходе ремонта;

установить единый перечень обеспечения ремонтных предприятий контрольно-измерительной аппаратурой;

установить единые сроки гарантии на отремонтированную аппаратуру.

Ответственными за организацию и осуществление технических мероприятий по разработке и внедрению контроля за качеством ремонта и технического обслуживания являются главные инженеры производственных объединений и технических центров.

Контроль качества отремонтированной бытовой РЭА ведется отделом (службой) технического контроля (ОТК) и инженерно-техническими работниками производственных предприятий. На службу технического контроля возлагаются также обязанности по учету жалоб, контролю качества услуг населению и входного контроля комплектующих изделий, элементов и узлов.

Контроль качества ремонта и технического обслуживания осуществляется на всех этапах как в стационарных условиях, так и на дому у владельца аппаратуры и проводится сплошными и выборочными методами контроля.

Сплошной контроль осуществляется радиомехаником и бригадиром в стационарных условиях ремонта и технического обслуживания.

Выборочный контроль проводится мастерами, бригадирами, работниками службы технического контроля, специалистами и руководителями цеха, ТТЦ (ТЦ) как при выполнении работ на дому у владельца, так и в стационарной мастерской. Контроль качества работ на дому оформляется актом, а в стационарной мастерской фиксируется в журнале учета качества при выборочном контроле. Выборочному контролю подвергаются отремонтированные аппараты из числа готовой продукции в количестве 10–20% сменной выработки (но не менее одного аппарата разного назначения) при периодичности проверки один раз в неделю.

Порядок контроля определяется действующими стандартами с учетом общего количества отремонтированных аппаратов одного назначения за определенный период, результатов предыдущих проверок и количества претензий к качеству отремонтированной аппаратуры. Если хотя бы одно отремонтированное изделие не отвечает заданным требованиям, проверке подвергаются все аппараты сменной выработки радиомехаников, допустивших брак.

Для повышения качества технического обслуживания и ремонта бытовой РЭА ТТЦ и ТЦ оснащаются современными средствами измерений и контроля, специальным технологическим оборудованием и оснасткой.

Проверка качества отремонтированной аппаратуры выполняется на специально оборудованных столах с соблюдением условий и пра-

вил измерений и проверок, указанных в нормативно-технической документации.

Право сдачи отремонтированной бытовой РЭА без контроля ОТК представляется как отдельным радиомеханикам, так и бригадам в случаях если:

уровень квалификации радиомехаников (бригады) гарантирует качественное выполнение текущего ремонта и технического обслуживания;

радиомеханик (бригада) не менее года предъявляет ОТК продукцию высокого качества и сдает ее с первого предъявления;

радиомеханик (бригада) не имеет жалоб и претензий от заказчиков.

Бригадам предоставляется право самоконтроля, если большинство радиомехаников переведены на самоконтроль (имеют личное клеймо). Радиомеханики (бригады), осуществляющие самоконтроль своей продукции, получают дополнительное материальное вознаграждение.

Для обеспечения быстрого и качественного ремонта и проверки основных средств измерений на предприятиях технического обслуживания и ремонта бытовой РЭА создана сеть метрологического обеспечения, которая включает базовую организацию метрологической службы при головной организации технического обслуживания и ремонта бытовой РЭА и метрологические службы ТТЦ и ТЦ.

Базовая организация по метрологии обеспечивает координацию деятельности региональных служб по метрологии, осуществление методического руководства ими, разработку технических заданий на технологическое оборудование, предназначенное для ремонта новых типов бытовой РЭА, разработку инструкций по поверке новых средств измерений отраслевого назначения.

Ремонт и поверка контрольно-измерительных приборов выполняются в региональных лабораториях специальных измерений (ЛСИ).

Метрологические службы ТТЦ и ТЦ, а также производственных объединений (ПО) осуществляют свою деятельность в соответствии с типовыми положениями о метрологической службе.

Для сокращения времени технического обслуживания, действенного контроля за качеством проведенных работ и их сроками широко применяется вычислительная техника. ЭВМ применяются в автоматизированных диспетчерских службах для приема заявок и контроля за качеством и сроками выполнения их.

Внедрение автоматизированных систем управления позволит на высоком уровне решать вопросы:

техничко-экономического планирования;

оперативного управления производством;

материально-технического обеспечения и контроля за использованием материальных ресурсов;

учета и подготовки кадров.

7.5. ИНЖЕНЕРНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Существенное усложнение бытовой РЭА, широкое применение различной диагностической и контрольно-измерительной аппаратуры, повышение степени автоматизации процессов технического обслуживания и ремонта выдвигают новые требования к условиям труда, профессиональным знаниям и навыкам, общей культуре и психологическим качествам оператора. В дальнейшем под оператором понимается человек, осуществляющий эксплуатацию РЭА на различных этапах (подготовка и использование по назначению, техническое обслуживание, ремонт).

Разработка и организация эксплуатации РЭА с позиций обеспечения их высокой надежности и эффективности требуют комплексного решения ряда специфических задач из области психологии, физиологии, гигиены труда.

Указанные проблемы решает инженерная психология — наука, изучающая объективные закономерности процессов информационного взаимодействия человека и техники для использования их в практике проектирования, создания и эксплуатации системы человек — машина (СЧМ). Инженерная психология рассматривает деятельность человека и функционирование машины во взаимосвязи. При этом подчеркивается ведущая роль человека.

Как психологическая наука инженерная психология изучает психические процессы и свойства человека, выясняя, какие требования к техническим устройствам вытекают из особенностей человеческой деятельности, т.е. решает задачу приспособления техники и условий труда к человеку.

Как техническая наука инженерная психология изучает различные технические устройства, контрольно-измерительную аппаратуру, процессы и алгоритмы их функционирования для выяснения требований, предъявляемых к психологическим и физиологическим особенностям человека-оператора.

Основные задачи инженерной психологии могут быть сформулированы следующим образом [10]:

анализ функций человека в СЧМ, изучение структуры и классификация деятельности оператора;

изучение процессов преобразования информации человеком-оператором. Преобразование информации человеком включает четыре основных этапа: прием информации, переработка принятой информации, принятие решений, осуществление управляющих воздействий;

разработка принципов построения рабочих мест операторов;

изучение влияния психологических факторов на эффективность систем человек — машина;

разработка принципов и методов профессиональной подготовки операторов. Профессиональная подготовка операторов включает:

профессиональный отбор, обучение, формирование коллектива, тренировку;

инженерно-психологическое проектирование и оценка систем человек-машина;

определение экономического эффекта инженерно-психологических разработок.

Рассмотренные задачи решаются на различных этапах существования СЧМ, а именно проектирования и эксплуатации. Остановимся на основных проблемах эксплуатационного направления, к которым относятся анализ поведения и работоспособности операторов в различных режимах работы, психологическое обеспечение научной организации труда операторов, разработка методов, критериев и средств контроля психофизиологического состояния операторов в процессе работы, вопросы групповой психологии, вопросы профессиональной подготовки операторов и т.д.

Основной особенностью операторской деятельности в процессе эксплуатации РЭА является необходимость переработать большое количество информации, принять и осуществить решение.

Человек-оператор около 90% всей информации получает через зрительный анализатор (глаза, проводящие нервные пути и центр в коре больших полушарий головного мозга). Возможность зрительного восприятия определяется энергетическими, пространственными и временными характеристиками сигналов, поступающих к оператору.

Энергетические характеристики зрительного анализатора определяются яркостью, контрастностью, цветоощущением.

Яркостью предмета называется величина

$$B = I/S_{\Pi} \cos \alpha_{\Pi}, \quad (7.1)$$

где I – сила света; S_{Π} – площадь светящейся поверхности; α_{Π} – угол, под которым рассматривается поверхность.

Канделла (кд) равна силе света, испускаемого с поверхности площадью $1/600\,000 \text{ м}^2$ в перпендикулярном направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении $101\,325 \text{ Па}$ (761 мм рт. ст.).

Единицей яркости является канделла на квадратный метр (кд/м^2) – яркость светящейся поверхности площадью 1 м^2 при силе света 1 кд . Яркость является основной характеристикой света. Диапазон чувствительности зрительного анализатора простирается от 10^{-6} до 10^6 кд/м^2 . Наилучшие же условия для работы будут при яркости, лежащей в пределах от нескольких десятков до нескольких сотен кд/м^2 .

Видимость предметов определяется также контрастом их по отношению к фону. Различают два вида контраста: прямой (предмет темнее фона) и обратный (предмет ярче фона). Количественно контраст оценивается как отношение разности в яркости предмета и фона к большей яркости:

$$L_{\text{пр}} = (B_{\text{ф}} - B_{\text{п}})/B_{\text{ф}}; \quad L_{\text{об}} = (B_{\text{п}} - B_{\text{ф}})/B_{\text{п}}, \quad (7.2)$$

где $B_{\text{ф}}$ и $B_{\text{п}}$ – яркость фона и предмета.

Оптимальное значение контраста считается равным 0,6–0,95. Для нормальной видимости значение контраста, рассчитанное по формуле (7.2), должно быть больше порогового контраста $L_{\text{пор}}$ в 10–15 раз. Пороговый контраст $L_{\text{пор}}$ зависит от минимальной яркости предмета и фона, обнаруживаемой глазом.

В ряде случаев в поле зрения оператора могут быть сигналы разной интенсивности. При этом сигналы с большей яркостью могут вызвать нежелательное состояние глаз – ослепленность. Следовательно, для создания оптимальных условий зрительного восприятия необходимо не только обеспечить требуемую яркость и контрастность сигналов, но также и равномерность распределения яркостей в поле зрения.

Глаз человека воспринимает электромагнитные волны в диапазоне 380–760 нм ($380 \cdot 10^{-9}$ – $760 \cdot 10^{-9}$ м). Однако чувствительность глаза к волнам различной длины неодинакова. Наибольшую чувствительность глаз имеет к волнам в середине спектра видимого света (500–600 нм). Этот диапазон соответствует излучению желто-зеленого цвета. Важной характеристикой глаза является относительная видимость:

$$K_{\lambda} = S_{\lambda}/S_0, \quad (7.3)$$

где S_0 – ощущение, вызываемое источником излучения с длиной волны 550 нм; S_{λ} – ощущение, вызываемое источником той же мощности с длиной волны $\lambda_{\text{эм}}$.

Кривая относительной видимости приведена на рис. 7.1. Из рисунка видно, что, например, для обеспечения одинакового зрительного ощущения необходимо, чтобы мощность синего излучения была в 16,6, а красного – в 9,3 раза больше мощности желто-зеленого излучения.

Влияние цвета в деятельности оператора очень велико. Он может использоваться, во-первых, как один из способов кодирования информации, во-вторых, для эстетического оформления помещений и пультов управления с точки зрения улучшения зрительного восприятия.

Пространственные характеристики зрительного анализатора определяются воспринимаемыми глазом размерами предметов и их местоположением в пространстве. К ним относятся: острота зрения, поле

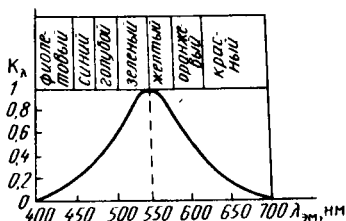


Рис. 7.1. Чувствительность глаза к радиоволнам различной длины

зрения и объем зрительного восприятия. Остротой зрения называется способность глаза различать мелкие детали предметов. Она определяется величиной, обратной тому минимальному размеру предмета, при котором он различим глазом. Угол зрения, равный $1'$, соответствует единице остроты зрения. Для предметов простой формы минимально допустимые размеры элементов изображения составляют $15'$, для сложных предметов — от 30 до $40'$.

Важной характеристикой зрительного восприятия является его объем: число объектов, которые может охватить глаз человека в течение одной зрительной фиксации. Обнаружено, что при предъявлении не связанных между собой объектов объем восприятия составляет 4–8 элементов.

Условно все поле зрения можно разбить на три зоны: центрального зрения (4°), где возможно наиболее четкое различение деталей; ясного видения ($30-35^\circ$), где при неподвижном глазе можно опознать предмет без различных мелких деталей; периферического зрения ($75-90^\circ$), где предметы обнаруживаются, но не опознаются.

В РЭА значительная часть информации поступает к человеку в форме звуковых сигналов. Слуховой аппарат человека воспринимает звук с частотой колебаний от 16 Гц до 20 кГц; наиболее чувствительно ухо к колебаниям в области частот от 1 до 4 кГц.

Интенсивностью звукового сигнала принято считать силу звука в $\text{эрг}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$. Абсолютным порогом звукового анализатора считается сила звука, равная $10^9 \text{ эрг}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ при частоте 2 кГц. В реальных условиях сила звука измеряется в децибелах и определяется выражением

$$G_3 = 10 \lg (I_3 / I_{п.з}), \quad (7.4)$$

где I_3 — сила звука данного сигнала; $I_{п.з}$ — пороговый уровень силы звука.

Верхний порог восприятия звуковых сигналов, при котором возникают различные болевые ощущения, составляет 140 дБ.

Человек оценивает различные по интенсивности звуки как равные по громкости, если частоты их также различны. Например, тон с интенсивностью 120 дБ и частотой 20 Гц оценивается как равный по громкости тону, имеющему интенсивность 100 дБ и частоту 1000 Гц. Таким образом, снижение интенсивности как бы компенсируется увеличением частоты.

Условия работы операторов и круг выполняемых ими задач весьма разнообразны. Поэтому весь комплекс условий окружающей среды и задач, с одной стороны, определяет психофизиологическую структуру деятельности оператора, а с другой — оказывает на компоненты этой деятельности заметное воздействие, вызывая утомление, сонливость, отвлечение внимания, что в конечном итоге может отрицательно сказаться на производственной деятельности.

Указанные факторы должны учитываться при организации трудо-

вой деятельности оператора, организации его рабочего места с учетом насыщенности контрольно-измерительной аппаратурой и средств отображения информации.

Под рабочим местом оператора понимается зона его трудовой деятельности в системе человек—машина, оснащенная техническими средствами и вспомогательным оборудованием, необходимым для осуществления функций контроля, управления, технического обслуживания и ремонта РЭА. Правильная организация условий труда предполагает рациональную планировку оборудования и размещение постоянного рабочего места персонала с учетом психофизиологических характеристик и антропометрических данных, обеспечение безопасности работы и нормальных окружающих условий. Конечной целью организации рабочего места является оптимизация условий трудовой деятельности, обеспечивающих максимальную надежность и эффективность работы оператора (бригады).

При организации рабочего места должны быть соблюдены следующие условия [10]:

достаточное рабочее пространство для оператора, позволяющее осуществлять все необходимые движения и перемещения при эксплуатации и техническом обслуживании РЭА;

оптимальное размещение рабочих мест и оборудования, входящего в состав рабочего места, а также безопасные и достаточные проходы для операторов;

необходимое естественное и искусственное освещение для выполнения технического обслуживания и ремонта;

допустимый уровень акустического шума, вибраций и других факторов производственной среды;

наличие необходимых инструкций и предупредительных знаков, предостерегающих об опасностях, которые могут возникнуть при работе, и указывающих на необходимые меры предосторожности;

надежная индикация отказов электрического питания, а также индикация отказов самой РЭА в процессе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

При организации рабочего места оператора (бригады) необходимо иметь в виду, что существенное влияние на работоспособность человека оказывает температура и влажность воздуха. Оптимальное значение температуры воздуха составляет 18—24°С, а относительная влажность от 30 до 60%. На жизнедеятельность человека большое влияние оказывает газовый состав воздуха. Благоприятными условиями газового состава воздуха является содержание кислорода 19—20%, а углекислого газа около 1%. Снижение содержания кислорода ниже 16% и повышение содержания углекислого газа выше 3% являются недопустимыми и могут привести к головной боли, головокружению, спутанности сознания, вялости, тошноте, одышке, сердцебиению, ослаблению памяти и внимания.

Тип рабочего места или характер выполняемой работы	Рекомендуемые значения освещенности, лк	Минимальные значения освещенности, лк
Периферийные устройства ЭВМ	1000	500
Техническое обслуживание РЭА	500	300
Ремонт РЭА		
общий	500	300
отдельных блоков, узлов, приборов	2000	1000
Выполнение записей	700	500

Результаты работы оператора в большой степени зависят и от освещенности рабочих мест. Освещенность в помещениях, где установлены рабочие места, должна иметь значения, приведенные в табл. 7.2.

Большое влияние на деятельность оператора оказывает и уровень шума. Шум вызывает заметные сдвиги физиологических и психических функций. Под воздействием шума возрастает число ошибок оператора, появляется досада, раздражение. Особенно неприятны высокочастотные и прерывистые шумы.

Кривые предельно переносимой интенсивности шума при его воздействии в течение шести часов в сутки (кривая 1) и максимально допустимый уровень шума при работе оператора в комфортных условиях (кривая 2) приведены на рис. 7.2.

При наличии вибраций понижается острота зрения, появляются головные боли, головокружение, атрофия мышц верхних и нижних конечностей. Косвенное влияние вибрации заключается, например, в уменьшении разрешающей способности вследствие понижения остроты зрения.

К числу неблагоприятных факторов производственной среды относится электромагнитное излучение высоких частот, которое вызывает у оператора быструю утомляемость, головные боли, нарушение сна, раздражительность и т.д. В бытовой РЭА высокочастотное излучение практически отсутствует.

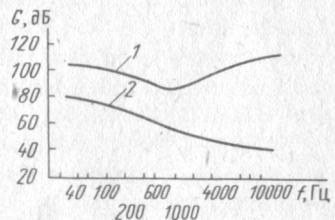


Рис. 7.2. Предельно допустимый уровень шума при изменении частоты

При эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте современной РЭА возникает необходимость отображения довольно больших объемов информации. Информацию о состоянии аппаратуры оператор получает с помощью средств отображения.

Наиболее часто в деятельности оператора используется зрительная индикация, которая включает три основные формы: стрелочную, знаковую, графическую. Многие приборы, используемые в процессе эксплуатации, технического обслуживания и ремонта РЭА, имеют стрелочную индикацию. Большое влияние на считывание показаний оказывают отдельные элементы стрелочного прибора: шкалы, стрелки, цифры, штрихи и т.д.

Знаковая индикация предполагает использование знаков (цифр, букв, геометрических фигур) для передачи информации с помощью различных индикаторов (табло, экраны, знаковые электронно-лучевые трубки, дисплеи и т.д.).

Графическая индикация, как правило, применяется для отображения движущихся объектов, а также для отображения информации при автоматическом контроле состояния РЭА с использованием ЭВМ.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что факторы среды, организация рабочего места оператора заметно влияют на эффективность его работы. При этом необходимо отметить, что большое значение на повышение эффективности работы радиоэлектронных устройств с участием человека оказывают уровень подготовки оператора, его квалификация и опыт работы. Следовательно, подготовке операторов, их обучению надо уделять постоянное внимание. Производственное обучение и повышение квалификации имеют много организационных форм. К ним относятся профессиональное обучение (институт, техникум, ПТУ), индивидуальное и бригадное обучение, самообучение.

При необходимости может проводиться профессиональный отбор операторов. Обслуживание современной РЭА требует усилий не одного оператора, а группы профессионально подготовленных людей. Ведущая роль в групповой деятельности операторов принадлежит информационным связям между членами группы, определяемым ее функциональной организацией. Так, например, при ремонте бытовой РЭА широкое распространение находит бригадная форма организации труда.

Основными показателями развития коллектива являются целеустремленность, сплоченность, прочность связей и эффективность деятельности.

К основным "болезням" коллектива относятся нарушение: внутриколлективных и межколлективных связей, существующих условий деятельности коллектива, межличностных отношений.

Помимо профессионального отбора и обучения операторов, организации их групповой деятельности в процессе эксплуатации РЭА возникает еще целый ряд других вопросов: выбор рационального ре-

жима труда и отдыха, создание безопасных и безвредных условий труда, контроль состояния и результатов деятельности оператора, совершенствование психологических характеристик операторов, разработка эксплуатационно-технической документации.

Выбор рационального режима труда и отдыха предполагает чередование работы и перерывов для обеспечения высокой производительности труда и сохранения здоровья работников.

Факторы производственной опасности подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические. Первые три группы включают воздействия, оказываемые производственной техникой и рабочей средой. Психофизиологические факторы характеризуют изменения состояния человека под влиянием тяжести и напряженности труда. Для ограничения вредного влияния психофизиологических факторов производственной опасности необходимо проводить ряд мероприятий, связанных с контролем состояния и результатами деятельности оператора. Контроль состояния и результатов работы оператора проводится различными методами. Контроль состояния может вестись по изменению физиологических, психологических, биохимических показателей с помощью различных приборов и тестов.

Контроль результатов работы оператора предусматривает правильность и своевременность выполнения предписанных ему обязанностей. Проведение такого контроля дает возможность определить напряженность выполнения оператором своих обязанностей, выяснить возможные причины ошибочных и несвоевременных действий, оценить качество его работы.

Во многих случаях эффективность работы оператора определяется наличием у него профессионально важных психологических качеств, способствующих выполнению данного вида деятельности. К психологическим качествам можно отнести внимание, память, мышление, время реакции, готовность к экстренным действиям, способность к групповым действиям.

Нормативно-техническая документация (НТД) является важнейшим источником информации, из которого оператор может получить необходимые сведения по устройству и функционированию, способам применения и особенностям эксплуатации техники, а также поиску и устранению возникших в ней неисправностей.

С точки зрения оформления, удобства пользования к НТД предъявляются следующие требования: документация должна быть максимально упрощена, унифицирована, т.е. содержать в одном документе необходимые данные для работы однородных объектов, узлов, блоков; информация в документации должна предъявляться оператору в форме, обеспечивающей ее непосредственное использование без расшифровки и перекодирования, а также допускать возможность ее укрупнения и детализации.

С инженерно-психологических позиций современная НТД часто не соответствует перечисленным требованиям; она разрабатывается не с учетом деятельности оператора, а с учетом специфики организации производства. Особенно характерны эти недостатки для графической документации, из которой оператору приходится выбирать информацию, отсеивая массу технологических и конструктивных подробностей, имеющих при эксплуатации второстепенное значение.

Текстовые документы (технические описания и инструкции по эксплуатации) часто не допускают избирательного чтения, описание операций в них перемежается с пояснением функционирования аппаратуры. Кроме того, в ряде случаев объем инструкций велик, и они страдают универсальностью. Специальные инструкции разрабатываются редко.

Таким образом, для рациональной организации труда оператора с учетом его психологических и физиологических характеристик разработка НТД должна вестись с учетом требований инженерной психологии, что в конечном счете будет не только способствовать улучшению условий труда, но и давать определенный экономический эффект.

7.6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКОНОМИЧНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Для оценки эффективности результатов эксплуатации РЭА необходимо правильно выбрать показатели эффективности. При этом необходимо иметь в виду то обстоятельство, что комплекс мероприятий может считаться достаточным (технически эффективным), если обеспечаемый им уровень надежности не ниже требуемого.

Для повышения безотказности аппаратуры в процессе эксплуатации, как уже указывалось, проводится техническое (профилактическое) обслуживание. При выполнении профилактических работ проводится контроль технического состояния аппаратуры, подстройка ее параметров, прогнозирование отказов и их предупреждение, устранение отказов, что позволяет исключить возникновение значительного количества отказов в процессе использования аппаратуры по назначению.

Повышение безотказности при проведении технического обслуживания можно характеризовать с помощью эффективности профилактики, под которой понимают отношение наработки на отказ, профилактируемой $T_{оп}$ и непрофилактируемой T_0 аппаратуры [3]:

$$W_{п} = T_{оп} / T_0. \quad (7.5)$$

Прирост наработки на отказ в профилактируемой аппаратуре обусловлен своевременным предотвращением отказов, которые могли бы появиться в ней при работе. Поэтому для оценки эффективности профилактики пользуются еще и другим показателем – коэффициентом эффективности профилактики, под которым понимают отношение

количества отказов, выявленных во время выполнения профилактических работ, к суммарному числу отказов, зарегистрированных в процессе эксплуатации аппаратуры:

$$K_{\text{эф.п}} = n_{\text{п}}/n_{\Sigma}, \quad \cup \quad (7.6)$$

где $n_{\Sigma} = n_{\text{п}} + n_{\text{р}}$; $n_{\text{р}}$ – число отказов, возникших в процессе работы аппаратуры.

Если предположить, что потоки отказов в профилактируемой и непрофилактируемой аппаратуре являются простейшими, то эффективность профилактики можно представить в виде

$$W_{\text{п}} = T_{0\text{п}} / T_0 (t_{\Sigma}/n_{\text{р}})/(t_{\Sigma}/n_{\Sigma}) = n_{\Sigma}/n_{\text{р}}, \quad (7.7)$$

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

Преобразуем выражение (7.7) с учетом равенства (7.6) и получим

$$W_{\text{п}} = n_{\Sigma}/n_{\text{р}} = (n_{\text{р}} + n_{\text{п}})/n_{\text{р}} = 1 + W_{\text{п}} K_{\text{эф.п}}, \quad (7.8)$$

или

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

Показатели $W_{\text{п}}$ и $K_{\text{эф.п}}$ позволяют количественно оценить повышение надежности при проведении профилактических работ.

Кроме показателей эффективности профилактических работ для оценки эксплуатационных свойств бытовой РЭА используют показатели, характеризующие продолжительность и трудоемкость технического обслуживания и ремонтов.

Для бытовой РЭА рекомендуются следующие показатели:

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

Средняя продолжительность технического обслуживания определяется формулой (6.20).

Средняя трудоемкость технического обслуживания определяется отношением средней продолжительности технического обслуживания к общему числу лиц технического персонала заданной квалификации, принимающих участие в техническом обслуживании, и измеряется в человеко-часах:

$$S_{\text{т.о}} = T_{\text{т.о}}/N_{\text{об}}, \quad \cup \quad (7.9)$$

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

Средняя продолжительность текущего ремонта определяется продолжительностью операций, необходимых для проведения восстановления работоспособности данного вида аппаратуры, и вычисляется по формуле (5.9).

Средняя трудоемкость текущего ремонта определяется отноше-

нием средней продолжительности текущего ремонта к общему числу лиц технического персонала заданной квалификации, принимающих участие в текущем ремонте, и измеряется в человеко-часах:

$$S_{T.p} = T_{T.p} / N_{об} \quad \checkmark \quad (7.10)$$

Экономичность — это свойство, характеризующее затраты, связанные с эксплуатацией РЭА. Расходы на эксплуатацию РЭА — $C_э$ обычно включают: стоимость содержания обслуживающего персонала — $C_о$, административные расходы — $C_а$, расходы на текущий ремонт — $C_р$, расходы на транспортирование РЭА — $C_т$, стоимость израсходованной электроэнергии — $C_{ээ}$, затраты на ЗИП, инструменты, вспомогательную аппаратуру, расходные материалы — $C_м$.

Эксплуатационные расходы обычно определяют за год эксплуатации аппаратуры

$$C_э = C_о + C_а + C_р + C_{ээ} + C_м + C_т. \quad (7.11)$$

Экономическая оценка эксплуатационных свойств аппаратуры проводится с помощью коэффициента стоимости эксплуатации $K_{ст.э}$, под которым понимается отношение стоимости эксплуатации в течение года и стоимости ее производства:

$$K_{ст.э} = C_э / C_{п}. \quad \checkmark \quad (7.12)$$

Экономическая оценка эксплуатационных свойств РЭА очень важна при обосновании требований к надежности. Известно, что создание более надежной аппаратуры требует дополнительного увеличения экономических затрат на ее производство. При этом повышение надежности и увеличение расходов на создание РЭА уменьшает стоимость ее эксплуатации, так как более надежная аппаратура требует меньших эксплуатационных расходов. Поэтому при задании требований на надежность с учетом экономических факторов следует исходить из суммарной стоимости экономических затрат, связанных с производством и эксплуатацией аппаратуры:

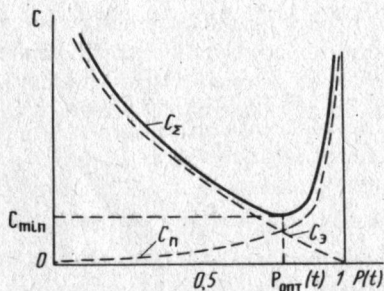


Рис. 7.3. Зависимость суммарной стоимости РЭА от ее надежности

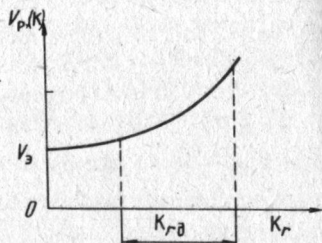


Рис. 7.4. Диапазон изменения K_p при отсутствии ограничения на время ремонта

$$C_{\Sigma} = C_{\Pi} + C_{\Sigma}, \quad (7.13)$$

Зависимость суммарной стоимости от вероятности безотказной работы $P(t)$ показана на рис. 7.3. Видно, что с ростом надежности возрастает C_{Π} , а C_{Σ} уменьшается. Минимальное значение суммарной стоимости C_{Σ} экономических затрат имеет минимум, соответствующий оптимальному значению надежности по экономическому показателю.

Рассмотрим составляющие стоимости одного ремонта. Предположим, что каждая проверка при отыскании неисправности имеет определенную стоимость V_1 , одинаковую для всех параметров, а отказавший элемент имеет стоимость V_3 . Тогда стоимость ремонта при одном отказе

$$V_p(k) = V_1 K_r + V_3, \quad (7.14)$$

где K_r — число проверок при отыскании неисправности.

При выполнении ремонта возможны три основных варианта заданий требований ко времени и стоимости ремонта:

ограничен максимум времени ремонта (существует дефицит времени) $T_{p.d}$, а стоимость ремонта не учитывается;

ограничен максимум стоимости ремонта $V_{p.d}(k)$, а на время ремонта ограничения не накладываются;

одновременно существует ограничение на время $T_{p.d}$ и стоимость $V_{p.d}(k)$ ремонта.

Для бытовой РЭА характерен второй вариант требований. В этом случае можно найти допустимый диапазон изменения K_r (рис. 7.4), который в конечном счете будет накладывать требования на квалификацию обслуживающего персонала и необходимую диагностическую аппаратуру.

Производственные объединения, техноторговые и технические центры, выполняющие техническое обслуживание и ремонт бытовой РЭА, представляют собой сложную экономическую систему со множеством разнообразных связей и функций. Поэтому уровень экономической эффективности их функционирования может быть измерен совокупностью показателей как рассмотренных выше, так и других. Одним из дополнительных показателей является качество ремонта.

Высокое качество ремонтов и технического обслуживания бытовой РЭА приводит к ликвидации затрат времени на повторный ремонт, уменьшению частоты обращения за услугой, снижению затрат времени на получение услуги при планомерном проведении технического обслуживания аппаратуры, ликвидации прямых потерь времени на жалобы и их разбирательство. Необходимо учитывать и социальную значимость повышения качества ремонта, сокращения количества повторных ремонтов, ибо это в конечном счете приводит к экономии свободного и рабочего времени владельцев аппаратуры.

Улучшение качества технического обслуживания аппаратуры, находящейся на абонементном обслуживании, способствует уменьшению количества ремонтов как на дому у владельца, так и в стационарных условиях, что уменьшает затраты ТТЦ (ТЦ) на запасное имущество и принадлежности, а также на транспортные услуги. В свою очередь повторные ремонты, если они возникают, а также некачественное техническое обслуживание увеличивают среднюю продолжительность и среднюю трудоемкость текущих ремонтов и ухудшают экономическую эффективность эксплуатации (повышают коэффициент стоимости эксплуатации) вследствие роста расходов на эксплуатацию.

Таким образом, вышеизложенное позволяет сделать вывод об экономической целесообразности проведения в ПО, ТТЦ (ТЦ) комплекса мер, направленных на повышение качества ремонта и технического обслуживания бытовой РЭА.

Среди этих мер важное значение имеет внедрение совершенных диагностических приборов, автоматизация поиска неисправностей и отказов, повышение квалификации обслуживающего персонала, создание централизованной системы материально-технического обеспечения, создание автотранспортного объединения, включающего в себя региональные автотранспортные предприятия, в состав которых входят автотранспортные цехи и колонны объединений по фирменному техническому обслуживанию бытовой РЭА.

Централизованное материально-техническое снабжение осуществляется с помощью региональных ремонтно-подготовительных предприятий, которые выполняют следующие функции:

- централизованный сбор и обработка информации для определения потребностей ПО в запасных частях и оборудовании;
- автоматизированная обработка и распределение ЗИПа по ПО, ТТЦ и ТЦ;
- снабжение предприятий запасными частями и элементами;
- создание единого резерва ЗИПа.

Раздел III. КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА БЫТОВОЙ РЭА

Глава 8. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ БЫТОВОЙ РЭА

8.1. ЗАДАЧИ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Контроль и диагностика бытовой радиоэлектронной аппаратуры проводится для оценки ее технического состояния с указанием при необходимости места, вида и причин возникновения дефектов. Под техническим состоянием бытовой РЭА понимается совокупность ее внутренних свойств, подверженных изменениям при производстве и эксплуатации, характеризующих соответствие или несоответствие качества

аппаратуры требованиям, установленным эксплуатационно-технической документацией на данную аппаратуру. Техническое состояние бытовой РЭА характеризуется определенными признаками, которые в свою очередь зависят от количественных и качественных характеристик свойств аппаратуры. Внутренние свойства бытовой РЭА определяются совокупностью свойств взаимосвязанных и взаимозависимых функциональных элементов, из которых она состоит. Общее число состояний, в которых может находиться та или другая бытовая РЭА, определяется числом функциональных элементов и связей между ними.

Переходы бытовой РЭА из одного технического состояния в другое являются случайными событиями. Поэтому любое состояние аппаратуры до проведения контроля и диагностики обладает некоторой неопределенностью, для раскрытия которой необходимо осуществить диагностирование. Результатом контроля и диагностики должно быть заключение о техническом состоянии бытовой РЭА. При этом, чтобы определить техническое состояние диагностируемой РЭА, необходимо, с одной стороны, установить, что и каким способом следует контролировать, а с другой стороны, решить, какие средства для этого потребуются. Эти две стороны проблемы делят все задачи диагностики на две группы:

анализ диагностируемой бытовой РЭА и выбор методов контроля для установления ее действительного технического состояния;

построение технических средств для проведения контроля и диагностики и использование этих средств с учетом назначения и условий эксплуатации бытовой РЭА.

При решении задач контроля и диагностики искомыми являются случайные технические состояния аппаратуры, а алгоритмы функционирования считаются заданными. При этом предполагается, что контролируемая аппаратура может находиться в конечном множестве S состояний. Это множество можно разделить на два подмножества $S_{и}$ исправных и $S_{н}$ неисправных состояний. Переход аппаратуры из одного состояния в другое, как правило, объясняется возникновением в ней неисправности.

Подмножество $S_{и}$ исправных состояний включает в себя все состояния, которые позволяют аппаратуре выполнять возложенные на нее функции, т.е. состояния работоспособности. Переход из одного состояния в другое в подмножестве $S_{и}$ может объясняться возникновением неисправностей в аппаратуре, которые, однако, не приводят к потере работоспособности, т.е. не вызывают перехода аппаратуры по техническому состоянию в подмножество $S_{н}$ неисправных состояний. Для бытовой РЭА подмножество часто включает единственное состояние, соответствующее исправности всех элементов РЭА.

Подмножество $S_{н}$ неисправных состояний включает в себя все состояния, соответствующие возникновению в аппаратуре неисправности, приводящей к потере ее работоспособности. Мощность под-

множества S_H определяется количеством неисправностей, которые можно обнаружить по соответствующим признакам.

Такая классификация технических состояний бытовой РЭА позволяет разделить процесс контроля и диагностики на два этапа.

На первом этапе устанавливается принадлежность бытовой РЭА по состоянию к одному из подмножеств $S_{и}$ или S_H . Эту процедуру называют проверкой исправности бытовой РЭА. Анализ состояний РЭА в подмножестве $S_{и}$ позволяет установить характер изменения степени ее работоспособности и в ряде случаев предсказать момент перехода состояния аппаратуры в подмножество S_H , а следовательно, осуществить прогнозирование состояния РЭА.

На втором этапе определяют, в каком из состояний подмножества S_H находится контролируемая аппаратура (в случае если действительное техническое состояние контролируемой РЭА относится к подмножеству S_H). Этот этап может быть назван обнаружением возникшей неисправности. Необходимость его определяется ремонтпригодностью аппаратуры и условиями диагностирования. На практике глубина обнаружения (степень локализации) возникшей неисправности должна быть согласована со степенью ремонтпригодности бытовой РЭА.

Диагностика используется на всех этапах существования бытовой РЭА — при производстве, эксплуатации и в ряде случаев при проектировании. Диагностика является не целью, а средством повышения эффективности производства при сборке и наладке бытовой РЭА, средством повышения ее надежности в процессе эксплуатации.

При производстве задачи диагностики решаются, как правило, в процессе наладки аппаратуры. На этапе эксплуатации диагностирование повышает эффективность использования бытовой РЭА. При этом задачи контроля и диагностики существенно упрощаются, если в ходе разработки бытовой РЭА была предусмотрена возможность выявления ее технического состояния.

8.2. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Основными элементами системы контроля и диагностики бытовой РЭА являются:

объект диагностирования (источник диагностической информации) — диагностируемая бытовая РЭА;

диагностическая аппаратура (средства технического диагностирования) — аппаратура выработки проверочных воздействий и подачи их на диагностируемый объект и аппаратура получения, переработки и анализа диагностической информации;

средства передачи диагностической информации;

потребители результатов диагностирования.

Совокупность перечисленных элементов образует систему кон-

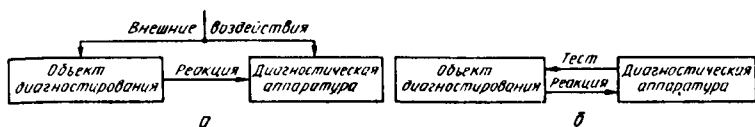


Рис. 8.1. Обобщенная функциональная схема функционального (а) и тестового (б) диагностирования

троля и диагностики бытовой РЭА, предназначенную для определения ее текущего технического состояния и отыскания неисправности с заданной глубиной.

Системы контроля и диагностики бытовой РЭА могут быть различными по своему назначению, структуре, месту установки, составу, конструкции, схемотехническим решениям. Они классифицируются по ряду признаков, определяющих их назначение, состав технических средств, структуру, решаемые задачи.

Процесс диагностирования представляет собой многократную подачу на объект диагностирования определенных воздействий и многократное измерение и анализ ответов (реакций) объекта на эти воздействия. В зависимости от способа подачи на объект диагностирования проверочных воздействий различают системы тестового и функционального диагностирования, обобщенные функциональные схемы которых приведены на рис. 8.1.

Системы функционального диагностирования используют в качестве проверочных воздействий рабочие сигналы. Эти воздействия соответствуют рабочим алгоритмам функционирования объекта диагностирования и не могут выбираться произвольно. Системы функционального диагностирования применяются, как правило, в процессе эксплуатации РЭА, например системы встроенного контроля. Они позволяют заменить в процессе работы отказавшие узлы резервными, переходить на другие режимы работы, для которых возникшая неисправность несущественна, т.е. строить адаптивные системы.

Однако ограниченность набора рабочих воздействий не всегда позволяет оптимально решать задачи диагностики. При необходимости увеличить глубину поиска неисправностей вводят датчики состояния более мелких узлов. Системы функционального диагностирования принципиально позволяют обнаружить отказ любого элемента, так как в практических схемах РЭА каждый элемент выполняет определенную функцию.

Системы тестового диагностирования используют проверочные воздействия, которые вырабатываются устройствами диагностирования. Поэтому как состав, так и последовательность подачи этих воздействий на диагностируемую РЭА определяются из условий эффективности контроля и диагностики. При этом для получения воздействий и ответных реакций можно использовать не только основные входы и выходы аппаратуры, но также внутренние узлы и ветви. Это спо-

способствует получению большей глубины поиска дефектов при меньших затратах времени и оборудования. Тестовое диагностирование может проводиться не только во время поиска неисправностей и наладки, но и при нормальном функционировании аппаратуры. Для того чтобы тестовые воздействия не влияли на нормальную работу диагностируемой аппаратуры, их подают, например, во время рабочих пауз данной части аппаратуры.

Контроль и диагностирование бытовой РЭА предполагает определенную ее идеализацию, при которой выделяются некоторые существенные (для контроля и диагностики) характеристики и отбрасываются второстепенные, т.е. реальная бытовая РЭА заменяется моделью.

При поиске неисправностей бытовую РЭА обычно представляют в виде функциональной модели или функционально-логической схемы. Функциональная модель отличается от структурной схемы выбором первичных функциональных элементов. Под функциональным элементом понимают часть объекта диагностирования (узел, каскад, группу каскадов, отдельный радиокомпонент), которая может находиться только в одном из двух состояний: исправна или неисправна. При построении структурной схемы исходят из закономерностей рабочих процессов в диагностируемой аппаратуре, в то время как при построении функциональной модели исходят из заданной точности локализации неисправностей с учетом конструктивных особенностей аппаратуры.

Как показывает практика, диагностирование необходимо вести до отказавшего радиокомпонента. При этом наиболее рационально поиск неисправностей проводить последовательно на разных уровнях: блок — модуль — каскад — радиокомпонент. В соответствии с этим строят несколько функциональных моделей: для устройства в целом с глубиной поиска неисправности до блока или модуля, для каждого блока или модуля с глубиной поиска до каскада или отдельного радиокомпонента.

Исходными данными для построения функциональной модели являются:

- структурная схема объекта контроля и диагностики;
- принципиальная схема объекта контроля и диагностики;
- описание процессов, протекающих в объекте диагностирования;
- заданная глубина поиска неисправностей.

При построении функциональных моделей необходимо руководствоваться следующими правилами [19]:

в каждом функциональном элементе должны быть известны значения (номинальные, допуски) входных и выходных параметров, их функциональная зависимость и способ контроля;

при выходе из допустимых пределов хотя бы одного из входных

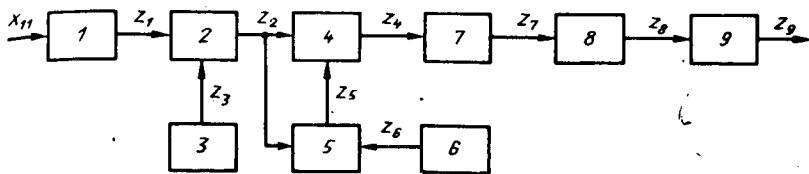


Рис. 8.2. Функциональная модель канала звукового сопровождения телевизора типа УПИМЦТ

сигналов появляется выходной сигнал, который также выходит из допустимых пределов;

функциональный элемент модели объекта диагностирования считается неисправным, если при всех входных сигналах, лежащих в допустимых пределах, на его выходе появляется сигнал, значения которого выходят из допустимых пределов;

значения внешних входных сигналов всегда находятся в пределах допусков;

если выходной сигнал i -го функционального элемента является входным для j -го функционального элемента, то значения этих сигналов совпадают;

линии связи между функциональными элементами абсолютно надежны;

любой первичный функциональный элемент модели может иметь только один выходной сигнал при произвольном конечном числе входных сигналов.

Функциональная модель (рис. 8.2) выполняется в виде графической схемы, на которой каждый функциональный элемент обозначается прямоугольником с некоторым количеством входных стрелок (входных сигналов) и одной выходной стрелкой (выходным сигналом). Выход любого функционального элемента можно соединять с любым числом входов, в то время как вход любого элемента может быть соединен только с одним выходом.

Входы, которые не соединены ни с одним выходом, называются внешними. Они передают внешние воздействия на диагностируемый объект. Внешние воздействия обозначаются x_{ij} , где i – номер функционального элемента, j – номер входа этого элемента. Выходы функциональных элементов обозначаются z_i , где i – номер функционального элемента.

После построения функциональной модели определяется множество возможных состояний объекта диагностирования. Общее их число при его разделении на N функциональных элементов при двувальтернативных исходах для каждого функционального элемента равно $2^N - 1$. Однако в высоконадежных устройствах, к которым принадлежит и бытовая РЭА, одновременное появление двух независимых отказов маловероятно. Тогда число возможных состояний диагностируемой

S_i	z_j								
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9
S_0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
S_1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
S_2	1	0	1	0	0	1	0	0	0
S_3	1	0	0	0	0	1	0	0	0
S_4	1	1	1	0	1	1	0	0	0
S_5	1	1	1	0	0	1	0	0	0
S_6	1	1	1	0	0	0	0	0	0
S_7	1	1	1	1	1	1	0	0	0
S_8	1	1	1	1	1	1	1	0	0
S_9	1	1	1	1	1	1	1	1	0

бытовой РЭА можно определять как число сочетаний N элементов по одному:

$$C_N^1 = N. \quad (8.1)$$

Число различных состояний диагностируемой аппаратуры с учетом отказов одновременно одного функционального элемента сводится в таблицу состояний или матрицу неисправностей. Последняя представляет собой таблицу, в которой число строк равно числу функциональных элементов модели, а число столбцов — числу контрольных точек (выходных элементов). Матрица неисправностей для функциональной модели канала звукового сопровождения телевизора типа УПИМЦТ, представленной на рис. 8.2, приведена в табл. 8.1.

Матрица неисправностей заполняется на основании логического анализа функциональной модели диагностируемой аппаратуры при условии, что все параметры в контрольных точках на выходах функциональных элементов контролируются. При этом предполагается, что если диагностируемая аппаратура находится в S_i состоянии, то неисправен только i -й функциональный элемент. Этому событию соответствует недопустимое значение выходного параметра z_j и тогда на пересечении S_i -строки и z_j -столбца записывается символ 0.

Если при этом любой другой j -й функциональный элемент имеет также недопустимое значение z_j , то на пересечении S_i -строки и z_j -столб-

да также записывается символ 0. Если значение параметра находится в допуске, то на пересечении записывается символ 1.

Полученная матрица неисправностей используется при разработке программы поиска неисправностей.

8.3. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Параметром считают величину, характеристику, функциональную зависимость, которые определяют техническое состояние системы, аппаратуры, устройства, блока, элемента.

Контролируемые параметры описываются следующими свойствами: номинальным значением и полем допусков (границами); зависимостью значений параметра от внешних условий; требуемой точностью измерения; функциональными зависимостями (формулы для вычислений значений параметров по результатам измерений косвенных величин).

Каждый вид бытовой РЭА характеризуется определенным множеством параметров. При этом среди множества параметров имеется подмножество параметров (y_1, y_2, \dots, y_n) , которые определяют работоспособность бытовой РЭА в целом. Такие параметры называются определяющими. Часто определяющие параметры непосредственно измерить невозможно. Поэтому для их определения измеряют вспомогательные параметры (x_1, x_2, \dots, x_n) , которые связаны с ними вполне определенными зависимостями:

$$y_k = f_k(x_{ki}), \quad (8.2)$$

где $k = 1, 2, \dots, n$; $i = 1, 2, \dots$

По степени обобщения информации о техническом состоянии диагностируемой аппаратуры параметры подразделяют на первичные, вторичные и промежуточные.

Первичные параметры имеют самую низкую степень обобщения и являются параметрами элементов диагностируемой аппаратуры.

Вторичные параметры имеют самую высокую степень обобщения информации о структуре и работоспособности диагностируемой аппаратуры и являются параметрами выходных функций объектов диагностики. Обычно это определяющие параметры.

Промежуточные параметры позволяют осуществлять связь между вторичными и первичными параметрами.

Параметры РЭА являются случайными величинами, так как зависят от многих факторов, имеющих случайный характер, например неточностей производства, старения аппаратуры, изменения условий эксплуатации и др.

Количество контролируемых параметров определяется задачами контроля и диагностики.

Работоспособность бытовой РЭА, как правило, характеризуется

несколькими определяющими параметрами (вторичными и промежуточными), по которым оцениваются ее возможности выполнять заданные функции. Для выявления определяющих параметров часто необходимо выполнить значительные теоретические исследования диагностируемой аппаратуры.

При поиске отказов необходима детальная информация о состоянии узлов, блоков, каскадов и элементов, что требует контроля большего числа параметров, чем при контроле работоспособности.

При прогнозировании работоспособности необходимо иметь еще больший объем информации о техническом состоянии аппаратуры. В этом случае нужно знать не только состояние элементов, каскадов, узлов, значения их параметров, но и законы изменения параметров, в том числе и во времени. Поэтому при прогнозировании контролируют еще больше параметров и следят за изменением их во времени.

Вопросам выбора контролируемых параметров РЭА посвящено много работ [23]. Однако эти вопросы разработаны еще недостаточно полно. Наиболее часто используется метод статистической оптимизации по критерию максимальной вероятности отказа параметра из совокупности выбираемых для контроля параметров диагностируемого объекта. Этот метод позволяет оптимизировать количество контролируемых параметров и установить очередность их контроля. В соответствии с методом проводится анализ работы диагностируемой аппаратуры, на основе которого устанавливаются входные и выходные сигналы и намечается исходное количество параметров. Затем выполняется расчет и анализ надежности элементов, каскадов, узлов и всего объекта диагностики и вероятности их отказов. Далее составляется физическая модель. При этом элементы и узлы объединяются в группы и выделяются отдельные узлы, состояние которых характеризуется одним параметром определенной степени 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 контроля, сложность программно-управляющих и коммутирующих устройств, устройств поиска неисправностей и т.д.

При поиске отказов каждая целесообразная проверка дает определенную информацию, указывающую на возможные причины неисправности, и ограничивает область, в которой должна проводиться следующая проверка. При этом каждую очередную проверку следует проводить с учетом:

взаимосвязи узлов и блоков, которые могут явиться возможными причинами отказов;
вероятностей возможных причин неисправности;
относительного количества времени, необходимого для проведения последующей проверки.

Конструкция бытовой РЭА, ее устройства, блоки и узлы должны обеспечивать качественное проведение автоматизированного и автоматического контроля. Для этого все блоки и узлы ее должны монтироваться так, чтобы каждый из них выполнял строго определенные функции, имея минимум функциональных связей, позволяющих сократить количество контрольных точек и проверяемых параметров. Аппаратура должна иметь простые виды регулировок и минимальное их количество, а также необходимые контрольные выводы, разъемы для проверки параметров и поиска неисправностей, обеспечивающие удобное и надежное подключение аппаратуры контроля.

Допусками называют максимально допустимые отклонения параметров от номинальных значений, при которых не нарушается работоспособность бытовой РЭА. Значение контролируемого параметра

$$y = y_n \pm \delta, \quad (8.3)$$

где y_n — номинальное значение параметра; δ — допустимое отклонение параметра от номинального значения (допуск).

Известно, что безотказность бытовой РЭА можно рассматривать как произведение надежности p_1 , характеризующей отсутствие внезапных отказов, и надежности p_2 , характеризующей нахождение выходных параметров в пределах допусков:

$$p = p_1 p_2. \quad (8.4)$$

Таким образом, одним из путей повышения безотказной работы бытовой РЭА является обоснованный выбор допусков параметров с учетом всех факторов.

Допуски на параметры бытовой РЭА подразделяют на производственные и эксплуатационные.

Производственными допусками называют пределы изменения параметров при производстве РЭА, ограниченные максимально допустимыми отклонениями их от номиналов, обеспечивающими работоспособность РЭА при эксплуатации. Эти допуски определяют точность процесса производства, технологию сборки, правила регулировки и точность контрольно-измерительной аппаратуры.

Введение производственных допусков вызывается производственными погрешностями, под которыми понимают различного рода отклонения параметров от номинальных значений, указанных в технической документации. Производственные погрешности являются следствием нестабильности технологических процессов изготовления радиокомпонентов, процессов сборки, монтажа, настройки и т.д. Кроме того, на параметры влияют различного рода дестабилизирующие

факторы, в результате воздействия которых погрешности параметров возникают случайно и характеристики параметров могут быть заданы только статистически. На практике для большинства технологических процессов производственные погрешности параметров элементов (блоков, узлов) имеют нормальный закон распределения. При этом погрешности параметров, возникающие в результате действия дестабилизирующих факторов (температуры, влажности и т.д.), также подчинены этому закону. Поэтому нормальное распределение можно считать основным при расчете производственных допусков.

Производственные допуски параметров всегда должны быть больше их производственных погрешностей.

Эксплуатационными допусками называют пределы изменения параметров в процессе эксплуатации, ограниченные максимально допустимыми отклонениями их от номиналов, при которых сохраняется работоспособность РЭА. От эксплуатационных допусков существенно зависит правило регулировки, техническое обслуживание, точность контрольно-измерительной аппаратуры.

Эксплуатационные допуски на выходные параметры бытовой РЭА складываются из суммы трех допусков: производственного, температурного и допуска на старение, т.е. являются суммой трех случайных величин:

$$\delta = \sqrt{\delta_{\text{пр}}^2 + \delta_{\text{T}}^2 + \delta_{\text{СТ}}^2}, \quad (8.5)$$

где $\delta_{\text{пр}}$, δ_{T} и $\delta_{\text{СТ}}$ -- половина поля допусков соответственно производственного, температурного и на старение выходного параметра.

Температурный допуск характеризует пределы изменения параметра при заданном перепаде температур. Изменение параметра под воздействием температуры можно представить в виде

$$y_{\text{T}} = y_0 [1 + \alpha_{\text{T}}(t_2 - t_1)], \quad (8.6)$$

где y_0 -- значение параметра при $t = (20^\circ \pm 5)^\circ\text{C}$; α_{T} -- температурный коэффициент данного параметра, характеризующий относительное изменение его при нагревании элемента на 1°C ; t_1 и t_2 -- начальная и конечная температуры.

Допуском на старение называют пределы изменения параметров от старения за определенный интервал времени эксплуатации, при котором сохраняется работоспособность бытовой РЭА. В общем виде изменение параметра от старения элементов аппаратуры

$$y_{\text{СТ}} = y_0 (1 + C_{\text{СТ}}T_{\text{C}}), \quad (8.7)$$

где $C_{\text{СТ}} = \Delta y/y$ -- коэффициент старения; Δy -- изменение параметра за 1 ч; y -- значение параметра в момент изготовления РЭА; T_{C} -- полное время существования аппаратуры, включая хранение и предполагаемый срок ее работы.

В реальных условиях распределение отклонений параметров в результате изменения температуры и старения можно считать нормальным. Тогда эксплуатационные допуски на параметры

$$\delta = \pm 3\sigma, \quad (8.8)$$

где σ -- среднеквадратическое отклонение параметра y ; δ -- половина поля допуска.

Эксплуатационные допуски выходных параметров бытовой РЭА выбирают из условий работоспособности, т.е. условий выполнения аппаратурой возложенных на нее функций. При этом необходимо заметить, что выбор допусков является сложной задачей. Это объясняется тем, что при эксплуатации бытовой РЭА на ее параметры действуют различного рода дестабилизирующие факторы и старение, в результате чего возникают отклонения их от номинальных значений. Следует учитывать, что разброс параметров в конце срока службы в несколько раз превышает разброс параметров в начале ее эксплуатации.

Увеличение значения допуска δ ведет к снижению качества функционирования бытовой РЭА, а уменьшение этого параметра приводит к увеличению трудозатрат на более частые регулировки в моменты контроля, к увеличению количества отказов, а также к повышению требований к точностным характеристикам контрольно-измерительной аппаратуры при заданной достоверности контроля.

Для обеспечения работоспособности бытовой РЭА от проверки до проверки необходимо, чтобы отклонения параметров в течение этого времени не выходили за границы допусков. Отсюда вытекает основное требование к регулированию параметров: центры группирования отклонений (математические ожидания) параметров элементов, блоков, узлов бытовой РЭА должны располагаться как можно ближе к середине поля допусков.

В процессе эксплуатации бытовой РЭА наблюдаются уходы параметров от номинальных значений по разным законам (линейному, экспоненциальному и др.). При настройке узлов бытовой РЭА, т.е. при регулировке параметров необходимо учитывать законы их ухода за время между проверками и устанавливать значение параметра так, чтобы за время между проверками оно не отклонялось от номинального больше чем на половину своего ухода.

Допуски на определяющие параметры бытовой РЭА определяются основными функциями, которые выполняет эта аппаратура. В общем виде определяющий параметр связан со вспомогательными зависимостью

$$y = F(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (8.9)$$

Тогда для нахождения определяющего параметра y достаточно измерить n вспомогательных параметров и вычислить значение функции F .

С учетом выражения (8.3) запишем равенство (8.9) в виде

$$y_n + \Delta y = F(x_{n1} + \Delta x_1, x_{n2} + \Delta x_2, \dots, x_{nn} + \Delta x_n). \quad (8.10)$$

Учитывая, что в реальных радиотехнических системах $\Delta y \ll y_n$ и $\Delta x \ll x_n$, и разлагая в ряд Тейлора выражение (8.10) в окрестности

номинальных значений, а также пренебрегая членами второго порядка малости, получим

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial(x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nn})}{\partial x_i} \Delta x_i. \quad (8.11)$$

В выражении (8.11) значения частных производных являются коэффициентами влияния вспомогательных параметров на определяющий параметр (иногда их называют весовыми коэффициентами).

Если вспомогательные параметры одинаково влияют на определяющий параметр, тогда из равенства (8.11) получим

$$\Delta y = n \frac{\partial(x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nn})}{\partial x_i} \Delta x_i.$$

Обозначим коэффициент влияния i -го вспомогательного параметра на определяющий параметр через v_i , т.е.

$$v_i = \frac{\partial(x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nn})}{\partial x_i}.$$

Тогда будем иметь

$$\Delta y = n v_i \Delta x_i.$$

Отсюда допуск на вспомогательный параметр можно определить из выражения

$$\Delta x_{i \max} = \frac{\delta}{n v_i}, \quad (8.12)$$

где v_i – весовые коэффициенты вспомогательных параметров (при известной схеме РЭА определяют с помощью экспериментов или расчетов); δ – значение допуска на определяющий параметр.

Таким образом, допуски на определяющие параметры определяются функциями, которые выполняет бытовая РЭА, а допуски на вспомогательные параметры устанавливают по допускам определяющих параметров.

8.4. ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОСТРОЕНИЯ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

При построении алгоритмов (программ) поиска неисправностей различают последовательный, комбинационный и комбинационно-последовательный методы использования диагностической информации.

При последовательном методе информация о техническом состоянии отдельных функциональных элементов диагностируемой аппаратуры вводится в систему контроля и диагностики, в том числе и в автоматизированные системы контроля, и логически обрабатывается последовательно. При последовательном методе использования диаг-

ностической информации программа поиска неисправностей может быть жесткой или гибкой. Жесткой называется программа поиска, когда выходные параметры функциональных элементов контролируются в строгой, заранее определенной последовательности независимо от результатов их контроля. Гибкой называется программа, при использовании которой содержание и последовательности проведения последующих проверок зависят от результатов предыдущей.

При комбинационном методе использования диагностической информации результаты контроля логически обрабатываются только после накопления информации о всех параметрах диагностируемой аппаратуры.

Комбинационно-последовательный метод предусматривает последовательную обработку информации, получаемой в результате одновременного контроля нескольких из всей совокупности контролируемых параметров диагностируемой аппаратуры.

Выбор того или иного метода использования информации о техническом состоянии диагностируемой аппаратуры обусловлен структурой объекта диагностики и требуемой глубиной поиска неисправностей. Он накладывает определенные требования на принципы построения и структуру системы контроля и диагностики.

Вид алгоритма (программы) поиска неисправностей существенно влияет на эффективность процесса контроля и диагностики. При разработке алгоритма поиска обычно решают две задачи:

- определяют наилучший набор контролируемых параметров;
- получают наилучшую последовательность измерения контролируемых параметров.

Рассмотрим наиболее распространенные способы построения алгоритмов поиска неисправностей в бытовой РЭА.

Способ последовательного функционального анализа. При построении алгоритма способом последовательного функционального анализа предварительно определяются, исходя из назначения РЭА, основные функции, характеризующие исправность диагностируемой аппаратуры, например:

- приема и преобразования сигналов заданной частоты;
- электрического питания;
- управления;
- генерирования колебаний.

Как правило, для всех физических параметров бытовой РЭА известны допустимые пределы их изменения. Следовательно, контроль работоспособности будет состоять из контроля параметров, от которых зависят основные функции. Если какая-либо основная функция не выполняется, то возникает задача поиска неисправности. В этом случае параметр, значения которого вышли за границы допусков, следует считать функцией некоторых других параметров, которые являются физическими параметрами более мелких устройств, или

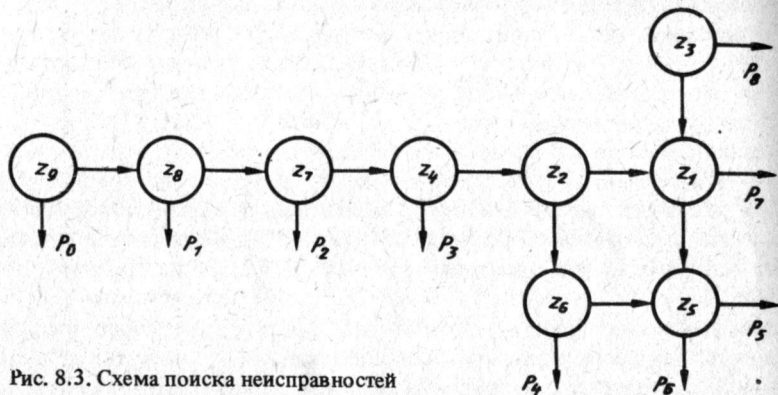


Рис. 8.3. Схема поиска неисправностей

смежных конструктивных элементов бытовой РЭА. Продолжая аналогичные рассуждения, составляется схема контроля работоспособности и поиска неисправностей.

Рассмотрим составление алгоритма поиска неисправностей до каскада на примере канала звукового сопровождения телевизора типа УПИМЦГ (см. рис. 8.2). Основной функцией этого канала является усиление и преобразование сигналов звукового сопровождения. Эта функция выполняется, если при входном сигнале с фиксированными параметрами на выходе будет наблюдаться вполне определенный сигнал. В процессе контроля этого сигнала принимается решение о исправности или неисправности канала. Последовательно контролируя сигналы на выходе каждого каскада, можно определить неисправный каскад. Получающуюся при этом схему поиска называют деревом функций (рис. 8.3), а решения представляют обычно в виде матрицы:

Обозначения по схеме	Решение
P_0	Канал звука исправен
P_1	Неисправен УЗЧ
P_2	Неисправен РГ
P_3	Неисправен фильтр
P_4	Неисправна ИМС
P_5	Неисправна схема РГ
P_6	Неисправна ИМС
P_7	Неисправен контур 6,5 МГц
P_8	Неисправен контур частотного дискриминатора

Способ последовательного функционального анализа построения алгоритма контроля работоспособности и поиска неисправности прост, нагляден, требует минимум информации от диагностируемой аппаратуры. Однако полученный с использованием этого способа алгоритм поиска неисправностей неоптимален ни по времени, ни по средним затратам.

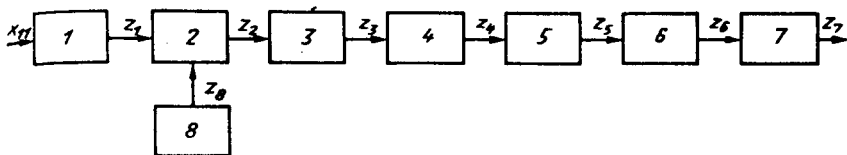


Рис. 8.4. Функциональная схема устройства

Способ половинного разбиения. Способ половинного разбиения используется часто при разработке алгоритмов поиска неисправностей в бытовой РЭА с последовательно соединенными элементами. Рассмотрим два случая.

1. Диагностируемая аппаратура состоит из N последовательно соединенных функциональных элементов, неработоспособна из-за отказа i -го элемента ($i = 1, 2, \dots, n$). Вероятности состояний $P(S_i)$ одинаковы для всех функциональных элементов, стоимости контроля выходных параметров z_i также одинаковы. При этих условиях первым следует контролировать параметр, несущий максимум информации о состоянии диагностируемой аппаратуры, неопределенность состояния которой до контроля оценивается величиной энтропии

$$H_0 = -\sum_{i=1}^N P(S_i) \log_2 P(S_i) = \log_2 N. \quad (8.13)$$

Таким образом, целесообразно контролировать такой параметр z_k , который разбивает объект диагностики пополам, т.е. чтобы $H(z_k) = H_0/2$ при положительном и отрицательном результатах контроля. Каждый последующий параметр для контроля выбирается аналогично, т.е. делят пополам образующуюся систему после выполнения предыдущей проверки в зависимости от результатов ее исхода.

Пример 8.1. Для устройства, функциональная схема которого приведена на рис. 8.4, способом половинного разбиения построить алгоритм поиска неисправностей.

Решение. Так как диагностируемое устройство состоит из четного числа функциональных элементов, первым контролируется параметр z_3 , который разбивает диагностируемый объект пополам. При положительном исходе (z_3 в допустимых пределах) принимают, что функциональные элементы 1, 2, 3 и 8 исправны, а неисправность находится в функциональном элементе 4, 5, 6 или 7. При этом следующим будет контролироваться параметр z_5 и т.д. При отрицательном исходе контроля параметра z_3 следующим контролируется параметр z_2 и т.д. В результате получим схему поиска неисправностей в диагностируемом устройстве (рис. 8.5).

2. Вероятности состояний $P(S_i)$ для функциональных элементов неодинаковы, тогда необходимо контролировать такой параметр z_k , который делит объект диагностики на части, вероятности состояния

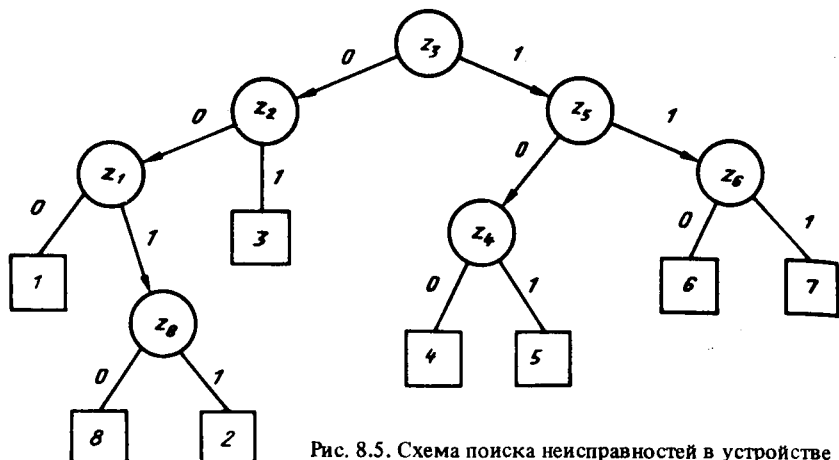


Рис. 8.5. Схема поиска неисправностей в устройстве

которых близки к 0,5. При этом неопределенность состояния диагностируемого объекта при контроле параметра z_k будет

$$H(z_k) = - [P_k \log_2 P_k + (1 - P_k) \log_2 (1 - P_k)], \quad (8.14)$$

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

Величина $H(z_k)$ будет максимальна, если разность $P_k - 0,5$ минимальна.

После контроля параметра z_k диагностируемый объект будет разделен на две части: первая содержит k , а вторая $N - k$ элементов. При выборе очередного параметра для контроля необходимо вероятности состояний в каждой из этих частей пронормировать, т.е. пересчитать по формулам

$$P'(S_i) = \frac{P(S_i)}{\sum_{i=1}^k P(S_i)}; \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (8.15)$$

$$P''(S_i) = \frac{P(S_i)}{\sum_{i=k+1}^N P(S_i)}; \quad i = k+1, k+2, \dots, N. \quad (8.16)$$

При этом

$$\sum_{i=1}^k P'(S_i) = 1 \quad \text{и} \quad \sum_{i=k+1}^N P''(S_i) = 1. \quad (8.17)$$

Тогда вторым параметром выбирается z_l , который делит одну из

частей на две, вероятности состояний которых $\sum_{i=1}^l P'(S_i) = 0,5$. Такое деление продолжается до тех пор, пока состояние диагностируемого объекта не будет определено с заданной глубиной.

Способ половинного разбиения применим и для случаев, когда в диагностируемой аппаратуре неисправно несколько элементов.

Способ "время-вероятность". Этот способ находит применение для РЭА, в которой функциональные элементы соединены произвольно и имеют разные вероятности $P(S_i)$ состояний и различные стоимости проведения контроля параметров $C(z_i)$. Эффективность способа оценивается средним временем поиска неисправного элемента или средним временем контроля одного параметра.

Для определения неисправного элемента выбирают набор параметров, обеспечивающих поиск до заданной глубины. Последовательность контроля параметров устанавливается в порядке уменьшения величин:

$$\frac{P(S_1)}{t_1} > \frac{P(S_2)}{t_2} > \dots > \frac{P(S_N)}{t_N}. \quad (8.18)$$

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

Пример 8.2. Для функциональной модели, приведенной на рис. 8.4, даны:

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

Решение. Рассчитываются отношения:

$$\begin{aligned} P(S_1)/t_1 &= 0,1/2 = 0,05; & P(S_2)/t_2 &= 0,25/0,5 = 0,5; \\ P(S_3)/t_3 &= 0,05/1 = 0,05; & P(S_4)/t_4 &= 0,08/2 = 0,04; \\ P(S_5)/t_5 &= 0,1/1 = 0,1; & P(S_6)/t_6 &= 0,15/0,5 = 0,3; \\ P(S_7)/t_7 &= 0,17/1 = 0,17; & P(S_8)/t_8 &= 0,1/0,5 = 0,2. \end{aligned}$$

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

$$z_2 \rightarrow z_6 \rightarrow z_8 \rightarrow z_7 \rightarrow z_5 \rightarrow z_1 \rightarrow z_3 \rightarrow z_4.$$

Способ на основе информационного критерия. Способ построения алгоритма поиска неисправностей на основе информационного критерия позволяет выбрать минимальное количество контролируемых параметров и определить последовательность их контроля.

Исходные данные для данного способа задаются в виде функциональной модели диагностируемого объекта и таблицы неисправностей, которая составляется в виде транспонированной матрицы состояний,

где столбцы соответствуют всем возможным состояниям диагностируемого объекта, а строки — параметрам функциональных элементов. Контроль может иметь два исхода: параметр в допуске — 1 или параметр не в допуске — 0.

Предварительно диагностируемый объект разделяется на N функциональных элементов, вероятности состояний которых

$$P(S_i) = P(S_1) = \dots = P(S_N) = 1/N. \quad (8.19)$$

Тогда неопределенность состояния диагностируемого объекта до контроля оценивается величиной энтропии

$$H_0 = - \sum_{i=1}^N P(S_i) \log_2 P(S_i) = \log_2 N. \quad (8.20)$$

Результат контроля k -го параметра диагностируемого объекта дает некоторое количество информации о его контроле:

$$I_k = H_0 - H_k, \quad (8.21)$$

где H_k — средняя условная энтропия диагностируемого объекта при условии контроля k -го параметра.

Поскольку в результате контроля принимаются лишь два решения, то средняя энтропия

$$H_k = P_k(z'_k) Hz'_k + P_k(z''_k) Hz''_k, \quad (8.22)$$

где $P_k(z'_k)$ и $P_k(z''_k)$ — вероятности положительного и отрицательного решений; $H_{z'_k}$ и $H_{z''_k}$ — энтропии, соответствующие диагностируемому объекту после выполнения контроля параметра z_k .

Вероятности $P_k(z'_k)$ и $P_k(z''_k)$ находятся по матрице состояний как отношение числа единиц m и нулей $N - m$ к общему числу состояний N в k -й строке:

$$P(z'_k) = m/N; \quad P_k(z''_k) = (N - m)/N. \quad (8.23)$$

Тогда

$$H_k = \frac{m}{N} \log_2 m + \frac{N - m}{N} \log_2 (N - m). \quad (8.24)$$

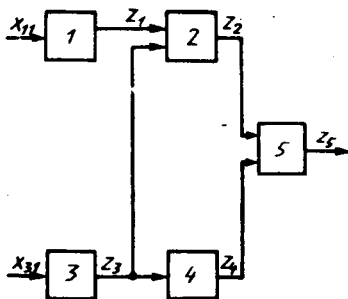
Контроль k -го параметра дает следующее количество информации:

$$I_k = \log_2 N - \left[\frac{m}{N} \log_2 m + \frac{N - m}{N} \log_2 (N - m) \right]. \quad (8.25)$$

Последовательно вычисляем значения I_k (где $k = \overline{1, N}$) и по убыванию I_k определяем значимость параметра z_k . Первым контролируется параметр z_k , дающий максимальное количество информации.

После контроля первого параметра определяют количество информации, получаемое при контроле каждого n оставшегося параметра относительно состояния, характеризующегося энтропией H_{z_k} . Условная энтропия

Рис. 8.6. Функциональная модель устройства



$$H(z_n/z_K) = P(z_n^1/z_K^1) H z_n^1/z_K^1 + P(z_n^0/z_K^0) H z_n^0/z_K^0 + P(z_n^0/z_K^1) H z_n^0/z_K^1 + P(z_n^1/z_K^0) H z_n^1/z_K^0. \quad (8.26)$$

где $P(z_n^1/z_K^1) = m_1/N$ – вероятность положительного решения при контроле параметра z_n в случае положительного решения при контроле параметра z_K ; m_1 – количество единиц в n -й строке таблицы состояний относительно m единиц в k -й строке; m_2 – количество единиц в n -й строке относительно $N-m$ нулей k -й строки.

$$P(z_n^0/z_K^1) = \frac{m - m_1}{N}; \quad P(z_n^1/z_K^1) = \frac{m_1}{N}; \quad (8.27)$$

$$P(z_n^0/z_K^0) = \frac{N - m - m_2}{N};$$

$$H z_n^1/z_K^1 = \log_2 m_1; \quad H z_n^0/z_K^1 = \log_2(m - m_1); \quad (8.28)$$

$$H z_n^1/z_K^0 = \log_2 m_2; \quad H z_n^0/z_K^0 = \log_2(N - m - m_2);$$

$$I(z_n/z_K) = H_K - H(z_n/z_K). \quad (8.29)$$

Выражение для вычисления количества условной информации имеет вид

$$I(z_n/z_K) = \left[\frac{m_1}{N} \log_2 \frac{m_1}{m} + \frac{m - m_1}{N} \log_2 \frac{m - m_1}{m} + \frac{m_2}{N} \log_2 \frac{m_2}{N - m} + \frac{N - m - m_2}{N} \log_2 \frac{N - m - m_2}{N - m} \right]. \quad (8.30)$$

По максимуму условной информации выбирается второй контролируемый параметр. По такой же схеме выбираются все остальные параметры.

Пример 8.3. Построить алгоритм поиска неисправностей на основе информационного критерия для функциональной модели, приведенной на рис. 8.6, и матрицы неисправностей (табл. 8.2).

Из анализа таблицы состояний находим, что контроль параметра z_5 для поиска неисправностей не дает никакой информации, поэтому его можно из дальнейшего рассмотрения исключить. Однако параметр z_5 может быть использован для контроля работоспособности.

S_i	z_j				
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5
S_1	0	0	1	1	0
S_2	1	0	1	1	0
S_3	1	0	0	0	0
S_4	1	1	1	0	0
S_5	1	1	1	1	0

Построим транспонированную матрицу (табл. 8.3).

Таблица 8.3

z_j	S_i				
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
z_1	0	1	1	1	1
z_2	0	0	0	1	1
z_3	1	1	0	1	1
z_4	1	1	0	0	1

Примем вероятности состояний $P(S_i)$ для функциональных элементов одинаковыми. Тогда энтропия до контроля будет

$$H_0 = \log_2 5 = 2,32.$$

Количество информации при контроле каждого параметра следующее:

$$I_1 = H_0 - \frac{1}{5} \log_2 1 - \frac{4}{5} \log_2 4 = 0,72;$$

$$I_2 = H_0 - \frac{3}{5} \log_2 3 - \frac{2}{5} \log_2 2 = 0,972;$$

$$I_3 = H_0 - \frac{4}{5} \log_2 4 - \frac{1}{5} \log_2 1 = 0,72;$$

$$I_4 = H_0 - \frac{3}{5} \log_2 3 - \frac{2}{5} \log_2 2 = 0,972.$$

Для контроля берем z_2 . После его контроля могут быть приняты два решения:

значение параметра z_2 в допуске — функциональные элементы 1–3 исправны, а неисправность в элементе 4 или 5;

значение параметра z_2 не в допуске — функциональные элементы 4 и 5 исправны, а неисправность в элементах 1–3.

В соответствии с этим решением перестраиваем матрицу состояний (табл. 8.4).

Таблица 8.4

z_i	S_i				
	S_4	S_3	S_1	S_2	S_5
z_2	1	1	0	0	0
z_1	1	1	0	1	1
z_3	1	1	1	1	0
z_4	0	1	1	1	0

Теперь вычислим количество информации, которое дает контроль параметров z_1, z_3, z_4 при условии, что параметр z_2 проконтролирован:

$$I(z_1/z_2) = - \left[\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{2} + \frac{2-2}{5} \log_2 \frac{2-2}{2} + \frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{3} + \frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{3} \right] = 0,548;$$

$$I(z_3/z_2) = - \left[\frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{2} + \frac{2-2}{2} \log_2 \frac{2-2}{2} + \frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{3} + \frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{3} \right] = 0,548;$$

$$I(z_4/z_2) = - \left[\frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{2} + \frac{2}{5} \log_2 \frac{2}{3} + \frac{1}{5} \log_2 \frac{1}{3} \right] = 0,948.$$

Следовательно, вторым для контроля выбираем параметр z_4 и перестраиваем матрицу состояний (табл. 8.5)

Затем вновь для оставшихся параметров определяем количество информации при условии, что проконтролированы два параметра:

$$I(z_1/z_2, z_4) = H(z_4/z_4) - H(z_1/z_2, z_4),$$

где $H(z_1/z_2, z_4) = P(z_1^1/z_2^1, z_4^1) H z_1^1/z_2^1, z_4^1 + P(z_1^0/z_2^1, z_4^1) H z_1^0/z_2^1, z_4^1 + P(z_1^1/z_2^0, z_4^1) \times H z_1^1/z_2^0, z_4^1 + P(z_1^0/z_2^0, z_4^1) H z_1^0/z_2^0, z_4^1 + P(z_1^1/z_2^1, z_4^0) H z_1^1/z_2^1, z_4^0 + P(z_1^0/z_2^1, z_4^0) H z_1^0/z_2^1, z_4^0 + P(z_1^1/z_2^0, z_4^0) H z_1^1/z_2^0, z_4^0 + P(z_1^0/z_2^0, z_4^0) H z_1^0/z_2^0, z_4^0$.

z_j	S_i				
	S_5	S_4	S_1	S_2	S_3
z_4	1	0	1	1	0
z_1	1	1	0	1	1
z_3	1	1	1	1	1

Если в ходе преобразований исходной матрицы встречаются параметры, не дающие никакой информации, то их можно не учитывать при дальнейших вычислениях.

В результате построения алгоритма поиска неисправностей в заданном объекте диагностирования получаем, что для поиска неисправностей достаточно контролировать последовательность из трех параметров (z_2, z_4, z_1) по определенной схеме (рис. 8.7).

Инженерный способ. Этот способ построения алгоритмов диагностирования основан на вычислении некоторых функций предпочтения. При этом исходными данными являются функциональная модель диагностируемого объекта и таблица неисправностей.

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

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

Последовательность контролируемых параметров выбирается по экстремальным значениям выбранной функции предпочтения. Для удобства решения в матрице состояний строки и столбцы обычно меняют местами. Равенство некоторого ij -го матричного элемента (со-

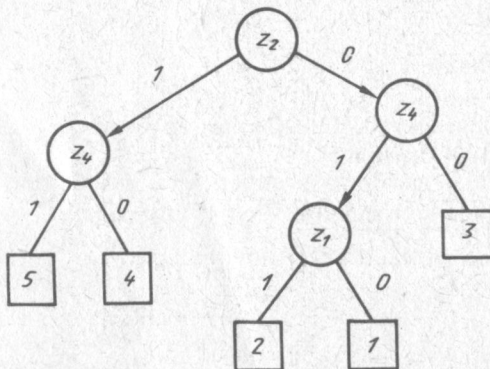


Рис. 8.7. Схема поиска неисправностей

стояние элемента описывается символом 0 или 1) нулю означает, что отказ i -го функционального элемента влияет на выходной параметр j -го функционального элемента, т.е., контролируя параметр z_j , можно определить состояние i -го функционального элемента. Таким образом, чем больше нулей в строке z_j матрицы состояний, тем большую информацию несет данный параметр о состоянии диагностируемого объекта. Отсюда функция предпочтения при оценке работоспособности диагностируемого объекта

$$W_1 = \max_{i \in N} W_1(z_i); \quad W_1(z_i) = \sum_{j=1}^N S_0(ij), \quad (8.31)$$

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

Первым для контроля берут параметр z_i , у которого функция $W_1(z_i)$ имеет максимальное значение. В результате контроля данного параметра матрица состояний делится на две части. В одну часть входят состояния, для которых результаты контроля выбранного параметра имеют положительное, а в другую — отрицательное решения. Так как при оценке работоспособности объекта не требуется определять отдельные состояния, а нужно фиксировать только факт исправности или отказа, то в дальнейшем нужно контролировать только первую часть матрицы состояний. Для нее аналогичным образом нужно вычислить значения функции предпочтения $W_1(z_i)$ и выбрать для контроля параметр по максимуму.

Если для диагностируемого объекта известны вероятности состояний $P(S_i)$, то функция предпочтения

$$W_2 = \max_{i \in N} W_2(z_i);$$

$$W_2(z_i) = \sum_{i=1}^N P(S_j) S_0(ij). \quad (8.32)$$

Если для диагностируемого объекта известны вероятности состояний $P(S_i)$ и стоимости контроля параметров $C(z_i)$, то функция предпочтения

$$W_3(z_i) = \frac{\sum P(S_i) S_0(ij)}{C(z_i)}. \quad (8.33)$$

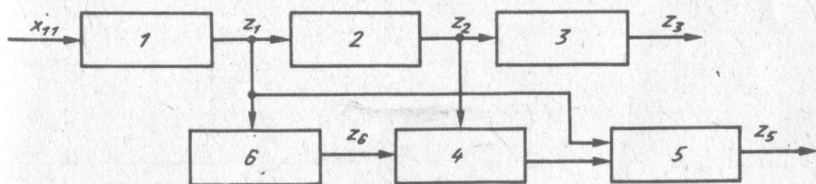


Рис. 8.8. Функциональная модель объекта диагностирования

Для данных функций предпочтения алгоритм оценки работоспособности остается таким же.

Пример 8.4. Объект диагностирования представлен функциональной моделью (рис. 8.8) и матрицей неисправностей (табл. 8.6). Оценить работоспособность диагностируемого объекта.

Таблица 8.6

z_i	S_i					
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
z_1	0	1	1	1	1	1
z_2	0	0	1	1	1	1
z_3	0	0	0	1	1	1
z_4	0	0	1	0	1	1
z_5	0	0	1	0	0	1
z_6	0	1	1	1	1	0

Решение. Для каждого параметра z_i табл. 8.6 по формуле (8.31) вычислим функцию предпочтения W_1 . Вычисленные значения W_1 занесем в табл. 8.7. По максимальному значению функции W_1 выбираем для контроля параметр z_5 . В результате контроля z_5 матрица неисправностей делится на две части: в одну часть входят функциональные элементы 3 и 6, для которых результат контроля положителен; в другую часть входят функциональные элементы 1, 2, 4 и 5, для которых результат контроля отрицателен, что означает неисправность одного из этих элементов.

Таблица 8.7

z_i	S_i						W_1
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	
z_1	0	1	1	1	1	1	1
z_2	0	0	1	1	1	1	2
z_3	0	0	0	1	1	1	3
z_4	0	0	1	0	1	1	3
z_5	0	0	1	0	0	1	4
z_6	0	1	1	1	1	0	2

Далее будем контролировать только первую часть матрицы (табл. 8.8). Для нее вычислим значения функции предпочтения W_1 и по максимуму этой функции выберем для контроля параметр z_3 . В результате контроля этого параметра оставшаяся часть матрицы (см. табл. 8.8) разделится на две части: неисправный функциональный элемент 3 и исправный 6 . И наконец, нужно проконтролировать параметр z_6 .

Таблица 8.8

z_i	S_i		W_1
	S_3	S_6	
z_3	0	1	1
z_6	1	0	1

Таким образом, для оценки работоспособности данного объекта диагностирования необходимо контролировать параметры z_5, z_3, z_6 .

Рассмотрим составление алгоритма поиска неисправностей без оценки работоспособности диагностируемой аппаратуры. Максимальное количество информации дает контроль параметра, который делит все возможные состояния на две равные части. Тогда функция предпочтения

$$W_4(z_i) = \min_{i \in N} \left| \sum_{j=1}^N S_0(ij) - \sum_{j=1}^N S_1(ij) \right|, \quad (8.34)$$

где $S_1(ij) = 1$, если состояние матричного элемента описывается единицей, и $S_1(ij) = 0$, если состояние элемента описывается нулем.

Первым для контроля выбирается параметр, для которого функция предпочтения W_4 минимальна. Результаты контроля z_i разделяют матрицу состояний на две части. Для полученных частей вновь, как правило, вычисляются функции предпочтения. По их минимальным значениям выбирают второй контролируемый параметр (при положительном исходе контроля первого выбранного параметра) или третий контролируемый параметр (при отрицательном результате контроля первого выбранного параметра). Совокупность параметров и последовательность их контроля выбираются до тех пор, пока множество N возможных состояний диагностируемого объекта не будет разделено на отдельные различимые состояния с требуемой глубиной поиска неисправностей.

В случае, когда заданы вероятности состояний $P(S_i)$ диагностируемой аппаратуры и стоимости контроля параметров $C(z_i)$ функциональных элементов, функции предпочтения примут вид

$$W_5(z_i) = \min_{j=1}^N \left| \sum_{j=1}^N P(S_i) S_0(ij) - \sum_{j=1}^N P(S_i) S_1(ij) \right|; \quad (8.35)$$

$$W_6(z_i) = \min C(z_i) \left| \sum_{j=1}^N P(S_j) S_0(ij) - \sum_{j=1}^N P(S_j) S_1(ij) \right|. \quad (8.36)$$

Пример 8.5. Построить алгоритм поиска неисправностей в устройстве (функциональная модель которого приведена на рис. 8.4, а матрица неисправностей — в табл. 8.9), используя функцию предпочтения (8.34).

Таблица 8.9

z_i	S_i							
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8
z_1	0	1	1	1	1	1	1	1
z_2	0	0	1	1	1	1	1	0
z_3	0	0	0	1	1	1	1	0
z_4	0	0	0	0	1	1	1	0
z_5	0	0	0	0	0	1	1	0
z_6	0	0	0	0	0	0	1	0
z_7	0	0	0	0	0	0	0	0
z_8	1	1	1	1	1	1	1	0

Решение. Для каждого параметра z_i табл. 8.9 по формуле (8.34) определяется значение функции W_4 . Полученные значения записывают в табл. 8.10 и по минимальному значению функции выбирают для контроля параметр z_3 .

Таблица 8.10

z_i	S_i								W_4
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	
z_1	0	1	1	1	1	1	1	1	6
z_2	0	0	1	1	1	1	1	0	2
z_3	0	0	0	1	1	1	1	0	0
z_4	0	0	0	0	1	1	1	0	2
z_5	0	0	0	0	0	1	1	0	4

z_i	S_i								W_4
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	
z_6	0	0	0	0	0	0	1	0	6
z_7	0	0	0	0	0	0	0	0	8
z_8	1	1	1	1	1	1	1	0	6

В результате контроля параметра z_3 табл. 8.10 делится на две части: в первую часть входят функциональные элементы 4, 5, 6 и 7, для которых результат контроля z_3 положителен, в другую часть входят функциональные элементы 1, 2, 3 и 8, для которых результат контроля отрицателен, что означает неисправность одного из этих элементов. При поиске неисправностей контролю подлежат обе части матрицы, поэтому каждую из них представляем в виде таблицы: первую часть в виде табл. 8.11, а вторую — в виде табл. 8.12. Для каждой из полученных таблиц определяем значения функций предпочтения W_4 .

Таблица 8.11

z_i	S_i				W_4
	S_4	S_5	S_6	S_7	
z_4	0	1	1	1	2
z_5	0	0	1	1	0
z_6	0	0	0	1	2
z_7	0	0	0	0	4

Таблица 8.12

z_i	S_i				W_4
	S_1	S_2	S_3	S_8	
z_1	0	1	1	1	2
z_2	0	0	1	0	2
z_3	0	0	0	0	4
z_8	1	1	1	0	2

По минимуму W_4 в табл. 8.11 выбираем для контроля параметр z_5 , а в табл. 8.12 – параметр z_1 .

В результате контроля параметра z_5 табл. 8.11 разбивается на две части: в одну часть входят элементы 6 и 7, для которых результат контроля z_5 положителен, а в другую часть – элементы 4 и 5, для которых результат контроля z_5 отрицателен. Полученные части матрицы представим в виде табл. 8.13 и 8.14 и находим для этих таблиц значения функций W_4 .

Таблица 8.13

z_i	S_i		W_4
	S_6	S_7	
z_6	0	1	0
z_7	0	0	2

Diagram: A box labeled '7' has an arrow pointing to the z_6 row with a '1' above it. A box labeled '6' has an arrow pointing to the z_7 row with a '0' above it.

Таблица 8.14

z_i	S_i		W_4
	S_4	S_5	
z_4	0	1	0
z_5	0	0	2

Diagram: A box labeled '5' has an arrow pointing to the z_4 row with a '1' above it. A box labeled '4' has an arrow pointing to the z_5 row with a '0' above it.

По минимальному значению функции W_4 в табл. 8.13 выбираем для контроля параметр z_6 , а в табл. 8.14 – параметр z_4 . Тогда при положительном результате контроля z_6 принимаем, что неисправен функциональный элемент 7, а при отрицательном – неисправен функциональный элемент 6. При положительном результате контроля параметра z_4 принимаем, что неисправен функциональный элемент 5, а при отрицательном – неисправен элемент 4.

В результате контроля параметра z_1 табл. 8.12 разбивается на две части: одна часть, состоящая из функциональных элементов 2, 3 и 8, соответствует положительному результату контроля z_1 (табл. 8.15); вторая часть, состоящая из одного функционального элемента 1, соответствует отрицательному результату контроля и означает, что неисправен функциональный элемент 1.

Для табл. 8.15 находим значения W_4 и по минимуму W_4 выбираем для контроля параметр z_2 . Контроль параметра z_2 требует деления табл. 8.15 на две части: одна часть, соответствующая положительному результату контроля параметра z_2 , указывает на неисправность функ-

Таблица 8.15

z_i	S_i			W_4
	S_2	S_3	S_8	
z_2	0	1	0	1
z_3	0	0	0	3
z_8	1	1	0	1

ционального элемента 3; другая часть, соответствующая отрицательному результату контроля параметра z_2 , включает функциональные элементы 2 и 8. Представим эту часть матрицы в виде табл. 8.16, определим для этой таблицы значения функции предпочтения W_4 и по минимуму функции W_4 выберем для контроля параметр z_8 .

Таблица 8.16

z_i	S_i		W_4
	S_2	S_8	
z_2	0	0	2
z_8	1	0	0

При этом, если результат контроля параметра z_8 положителен, то принимаем, что неисправен функциональный элемент 2, а если отрицателен, то принимаем, что неисправен функциональный элемент 8.

Таким образом, на основе инженерного способа, используя функцию предпочтения (8.34), получим алгоритм контроля параметров z_i при поиске неисправностей в диагностируемом устройстве. Схема поиска неисправностей в диагностируемом устройстве показана на рис. 8.9.

При совместном контроле работоспособности диагностируемого объекта и поиска в нем неисправностей для создания алгоритма оценки работоспособности следует пользоваться функциями предпочтения

$$W_1(z_i) = \max_i \sum_{j=1}^N S_0(ij); \quad i = 1, 2, \dots, N;$$

$$W_2(z_i) = \max_i \sum_{j=1}^N P(S_j) S_0(ij); \quad (8.37)$$

$$W_3(z_i) = \max_i = \frac{\sum_{j=1}^N P(S_j) S_0(ij)}{C(z_i)}.$$

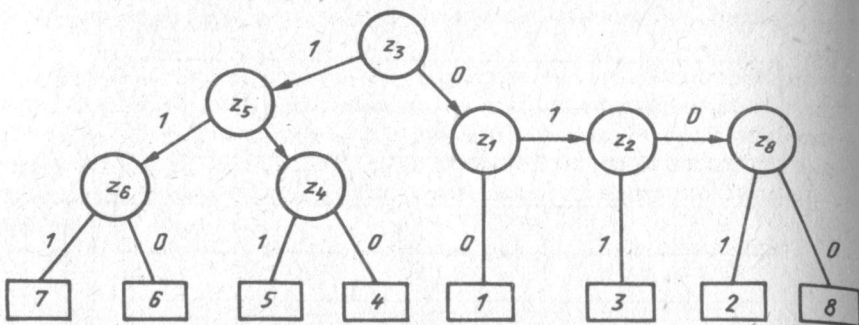


Рис. 8.9. Схема поиска неисправностей в диагностируемом устройстве

Для поиска неисправностей следует пользоваться функциями

$$W_4(z_i) = \min_i \left[\sum_{j=1}^N S_0(ij) - \sum_{j=1}^N S_1(ij) \right];$$

$$W_5(z_i) = \min_i \left[\sum_{j=1}^N P(S_j) S_0(ij) - \sum_{j=1}^N P(S_j) S_1(ij) \right];$$

$$W_6(z_i) = \min_i C(z_i) \left[\sum_{j=1}^N P(S_j) S_0(ij) - \sum_{j=1}^N P(S_j) S_1(ij) \right]. \quad (8.38)$$

Алгоритм, построенный на основе инженерного способа, будет не всегда оптимальным, но этот способ применим для объектов различных структур.

Способ ветвей и границ. Способ построения алгоритма поиска неисправностей методом ветвей и границ используется для синтеза алгоритмов поиска неисправностей в РЭА, функциональная модель которой представляет собой произвольную структуру. Он позволяет определить наилучшую последовательность поиска среди возможных. Для этого область возможных решений разбивается на все меньшие и меньшие подмножества, для каждого из которых вычисляется нижняя граница минимизируемой функции. Подмножества, у которых значения нижней границы превышают некоторое заданное значение, исключаются из дальнейшего рассмотрения. Процесс продолжается до тех пор, пока не будет найдено точное решение, при котором значение минимизируемой функции не превышает значений нижней границы для любого подмножества.

При построении алгоритма поиска неисправностей указанным методом используются следующие исходные данные:

функциональная модель диагностируемого объекта;

таблица неисправностей с вероятностями различных состояний и

стоимостями контроля выходных параметров функциональных элементов.

В общем случае очевидно, что в диагностируемом объекте, состоящем из N функциональных элементов с произвольными связями между ними, достаточно контролировать $m \leq N$ параметров. При этом некоторая последовательность контроля этих m параметров будет обладать минимальной средней стоимостью при поиске любого неисправного элемента объекта диагностирования.

Средняя стоимость произвольной программы поиска неисправностей

$$C = \sum_{i=1}^N C_i \sum_{\kappa=1}^i P(S_{\kappa}), \quad \text{или}$$

$$C = \sum_{i=1}^N P(S_i) \sum_{\kappa=1}^i C_{\kappa}, \quad (8.39)$$

где C_i — стоимость контроля i -го параметра; $\sum_{\kappa=1}^i P(S_{\kappa})$ — сумма вероятностей состояний, которые рассматриваются при контроле i -го параметра.

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

Последовательность контроля остальных параметров из приведенных подмножеств неизвестна, и определить значение средней стоимости алгоритма поиска невозможно. Поэтому значения средней стоимости заменяются их нижними границами $C_H(S_0)$ и $C_H(S_1)$ при контроле соответствующих параметров в подмножествах $S_0(z_i)$ и $S_1(z_i)$. Тогда нижняя граница средней стоимости всей программы поиска, которая начинается с контроля первого параметра, определяется как

$$C_H = C_i \sum_{i \in N} P(S_i) + C_H(S_0) + C_H(S_1). \quad (8.40)$$

Вычислив нижние границы стоимостей $C_H(S_0)$ и $C_H(S_1)$ для всех возможных алгоритмов поиска, выбирают первым такой параметр, контроль которого дает минимальную среднюю стоимость нижней границы алгоритма поиска.

Затем для подмножеств $S_0(z_i)$ и $S_1(z_i)$, образованных в результате контроля первого параметра z_i , вычисляют нижние границы стоимостей для всех возможных пар контролируемых параметров между первым и оставшимися для каждого подмножества.

Пусть для подмножества $S_0(z_i)$ контролируется параметр z_{κ} , а для подмножества $S_1(z_i)$ — параметр z_j . Тогда средняя стоимость нижней границы программы поиска, начинающейся с контроля i -го параметра, будет

$$C_H = C_i \sum_{i \in N} P(S_i) + C_H(z_k, S_0) + C_H(z_j, S_1). \quad (8.41)$$

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

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

Таким образом, алгоритм поиска неисправностей, построенный на основании выбора последовательности контролируемых параметров, дающих в среднем минимальную стоимость нижней границы, также будет обладать минимальной средней стоимостью поиска любого неисправного элемента диагностируемого объекта.

При построении алгоритма способом ветвей и границ процесс выбора последовательности контролируемых параметров обычно изображают графически в виде дерева решений. Каждая вершина этого дерева связывается с контролем некоторого параметра и нижней границей стоимости алгоритма поиска. Последовательность контролируемых параметров записывается внутри вершины, а значение стоимости нижней границы — около вершины. Вершины одного и того же ряда соответствуют одному шагу, причем в каждом ряду вершины располагаются в порядке убывания значения стоимости нижней границы слева направо. Ветви, идущие от одной вершины к другой, показывают направление движения к тому допустимому решению, которое вытекает из предыдущего. В дереве решений имеются вершины с ответвлениями и так называемые висячие вершины, из которых не исходит ни одной ветви. Последние дают или окончательное решение, не обязательно с наилучшей последовательностью контроля параметров, или решения, которые заведомо не приведут к оптимальному значению средней стоимости поиска.

Наиболее важной и существенной задачей при построении алгоритма поиска неисправностей способом ветвей и границ является вычисление стоимости нижней границы на каждом шаге контроля. Процесс вычисления значений стоимостей нижних границ при создании жестких или гибких алгоритмов несколько различается.

Пример 8.6. Построить гибкий алгоритм поиска неисправностей способом ветвей и границ для объекта диагностирования, заданного функциональной моделью (рис. 8.10), матрицей неисправностей (табл. 8.17) и вероятностями состояний $P(S_i)$. Стоимости контроля всех параметров одинаковы и равны C .

Для вычисления значений стоимости нижней границы подмножеств $S_0(z_i)$ и $S_1(z_i)$ необходимо выполнить следующие операции:

расположить по возрастанию значения вероятностей диагностируемого объекта для каждого подмножества $S_0(z_i)$ и $S_1(z_i)$;

просуммировать две наименьшие вероятности последовательности

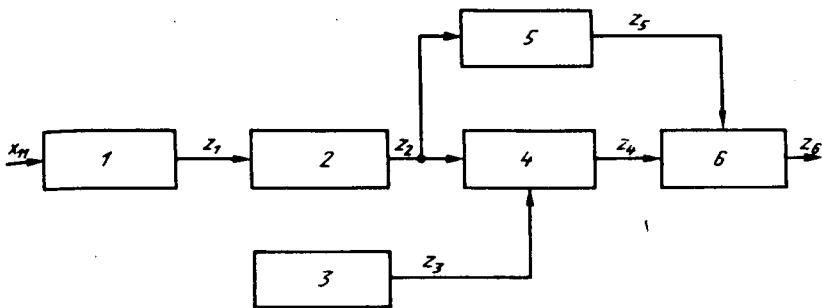


Рис. 8.10. Функциональная модель диагностируемого объекта

и построить новую последовательность, в которой две наименьшие вероятности заменены их суммой.

Процесс построения последовательностей и суммирование вероятностей заканчиваются, когда в последовательности остается одно значение вероятности. Тогда значения стоимостей нижних границ для подмножеств $S_0(z_i)$ и $S_1(z_i)$ при контроле параметра z_i будут

$$C_H(S_0) = C \sum_{\lambda=1}^{l-1} P_{\lambda}^* ;$$

$$C_H(S_1) = C \sum_{\nu=1}^{N-l-1} P_{\nu}^* , \quad (8.42)$$

где P_{λ}^* и P_{ν}^* – сумма двух наименьших вероятностей состояний λ -й последовательности подмножества $S_0(z_i)$ и ν -й последовательности подмножества $S_1(z_i)$ соответственно; l – количество состояний, соответствующих отрицательному результату контроля параметра z_i .

Следовательно, нижняя граница средней стоимости всего алгоритма поиска, начинающегося с контроля параметра z_i , будет

Таблица 8.17

S_i	z_i						$P(S_i)$
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	
S_1	0	0	1	0	0	0	0,2
S_2	1	0	1	0	0	0	0,05
S_3	1	1	0	0	1	0	0,24
S_4	1	1	1	0	1	0	0,15
S_5	1	1	1	1	0	0	0,06
S_6	1	1	1	1	1	0	0,3

$$C(z_i) = C \left[\sum_{i \in N} P(S_i) + \sum_{\lambda=1}^{l-1} P_{\lambda}^* + \sum_{\nu=1}^{N-l-1} P_{\nu}^* \right]. \quad (8.43)$$

Пусть первым контролируется параметр z_1 . Тогда множество возможных состояний разбивается на два подмножества: $S_0(z_1)$ и $S_1(z_1)$. Для подмножества $S_0(z_1)$ последовательность значений вероятностей будет состоять из одного значения $P(S_1) = 0,2$, а для подмножества $S_1(z_1)$ составим первую последовательность: $P(S_2) = 0,05$; $P(S_5) = 0,06$; $P(S_4) = 0,15$; $P(S_3) = 0,24$; $P(S_6) = 0,3$. Затем определим сумму двух наименьших вероятностей: $P_1^* = 0,05 + 0,06 = 0,11$.

Составим вторую последовательность: $P_1^* = 0,11$; $P(S_4) = 0,15$; $P(S_3) = 0,24$; $P(S_6) = 0,3$. Затем определим $P_2^* = 0,11 + 0,15 = 0,26$.

Составим третью последовательность: $P(S_3) = 0,24$; $P_2^* = 0,26$; $P(S_6) = 0,3$. Затем определим $P_3^* = 0,24 + 0,26 = 0,5$.

И наконец, составим четвертую последовательность: $P(S_6) = 0,3$; $P_3^* = 0,5$ и определим $P_4^* = 0,3 + 0,5 = 0,8$.

При этом нижняя граница средней стоимости

$$C_H(z_1) = C \left[\sum_{i=1}^N P(S_i) + \sum_{\lambda=1}^0 P_{\lambda}^* + \sum_{\nu=1}^{6-1-1} P_{\nu}^* \right] = C(1 + 0 + 1,67) = 2,67 C.$$

Следует указать, что если подмножество $S_0(z_i)$ содержит одно состояние, то нижняя граница стоимости $C_H(S_0) = 0$, а если $S_1(z_i)$ содержит одно состояние, то $C_H(S_1) = 0$.

Разделение множества возможных состояний на два подмножества $S_0(z_1)$ и $S_1(z_1)$ при контроле параметра z_1 показано в таблице 8.17.

При контроле параметра z_2 множество возможных состояний разбивается на два подмножества: $S_0(z_2)$ и $S_1(z_2)$ (табл. 8.18).

Для подмножества $S_0(z_2)$ последовательность значений вероятностей будет состоять из двух значений: $P(S_2) = 0,05$; $P(S_1) = 0,2$, и тогда $P_1^* = 0,05 + 0,2 = 0,25$.

Для подмножества $S_1(z_2)$ первая последовательность будет иметь

Таблица 8.18

S_i	z_i					$P(S_i)$
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	
S_1	0	0	1	0	0	0,2
S_2	1	0	1	0	0	0,05
S_3	1	1	0	0	1	0,24
S_4	1	1	1	0	1	0,15
S_5	1	1	1	1	0	0,06
S_6	1	1	1	1	1	0,3

вид $P(S_5) = 0,06$; $P(S_4) = 0,15$; $P(S_3) = 0,24$; $P(S_6) = 0,3$, и тогда $P_1^* = 0,21$; $P_2^* = 0,45$; $P_3^* = 0,75$.

Следовательно, нижняя граница средней стоимости при контроле параметра

$$C_H(z_2) = C \left[\sum_{i=1}^N P(S_i) + \sum_{\lambda=1}^1 P_{\lambda}^* + \sum_{\nu=1}^{6-2-1} P_{\nu}^* \right] =$$

$$= C(1 + 0,25 + 1,41) = 2,66 C.$$

Поступая аналогичным образом при контроле параметров z_3 , z_4 и z_5 , получим нижние границы стоимости при контроле соответствующих параметров: $C_H(z_3) = 2,59C$; $C_H(z_4) = 2,60C$; $C_H(z_5) = 2,50C$.

Из результатов вычислений нижних границ средней стоимости следует, что минимальной стоимостью будет обладать алгоритм поиска, начинающийся с контроля параметра z_5 .

Построим матрицу (табл. 8.19) состояний подмножества

$S_0(z_5)$ и $S_1(z_5)$.

Анализируя табл. 8.19, видим, что в случае отрицательного исхода при контроле параметра z_5 следующими можно контролировать параметры z_1 , z_2 , z_4 . Параметр z_3 контролировать не имеет смысла, так как подмножество $S_0(z_5)$ не разбивается при его контроле на более мелкие подмножества. При положительном исходе можно контролировать параметры z_3 , z_4 .

Таким образом, необходимо вычислить значения стоимостей нижних границ алгоритма поиска при контроле таких наборов параметров: $z_5, z_1, z_3; z_5, z_1, z_4; z_5, z_2, z_3; z_5, z_2, z_4$. Для этого воспользуемся формулой

$$C_H(z_i, z_K, z_j) = C \sum_{i \in N} P(S_i) + C_H[z_K, S_0(z_i)] + C_H[z_j, S_1(z_i)],$$

где

$$C_H[z_K, S_0(z_i)] = C \sum_{S_K \in S_i^0} P(S_K) + C_H(S_K^{00}) + C_H(S_K^{01});$$

Таблица 8.19

S_i	z_i					$P(S_i)$
	z_5	z_1	z_2	z_3	z_4	
S_1	0	0	0	1	0	0,2
S_2	0	1	0	1	0	0,05
S_3	0	1	1	1	1	0,06
S_4	1	1	1	0	0	0,24
S_5	1	1	1	1	0	0,15
S_6	1	1	1	1	1	0,3

$$C_H [z_j, S_1(z_i)] = C \sum_{S_j \in S_i^1} P(S_j) + C_H (S_j^{10}) + C_H (S_j^{11}),$$

где $\sum_{S_K \in S_i^0} P(S_K)$ и $\sum_{S_j \in S_i^1} P(S_j)$ – суммы вероятностей $P(S)$ диагностируемого объекта, которые различаются контролем параметров z_K и z_j в подмножествах S_i^0 и S_i^1 соответственно.

Вычислим значения стоимостей нижних границ при контроле параметров z_5, z_1, z_3 . Контроль параметра z_1 позволяет различать состояния S_1, S_2, S_5 , следовательно,

$$\sum_{S_K \in S_i^0} P(S_K) = P(S_1) + P(S_2) + P(S_5) = 0,2 + 0,05 + 0,06 = 0,31.$$

Также при контроле параметра z_1 выделяется из подмножества $S_0(z_K)$ только одно состояние S_1^{00} , тогда $C_H(S_1^{00}) = 0$, а значение $C_H(S_1^{01})$ вычисляется аналогичным образом, как и $C_H(S_i^0)$:

$$C_H(S_1^{01}) = C \sum_{\nu}^K P_{\nu}^* = C [P(S_2) + P(S_5)] = C(0,05 + 0,06) = 0,11C.$$

При контроле параметра z_3 различаются состояния S_3, S_4, S_6 , следовательно,

$$\sum_{S_j \in S_i^1} P(S_j) = P(S_3) + P(S_4) + P(S_6) = 0,24 + 0,15 + 0,3 = 0,69.$$

Кроме того, при отрицательном исходе из подмножеств $S_1(z_5)$ выделяется только одно состояние, а при положительном – два, следовательно,

$$C_H(S_j^{10}) = C_H(S_3^{10}) = 0;$$

$$C_H(S_j^{11}) = C \sum_{\nu}^K P_{\nu}^* = C [P(S_4) + P(S_6)] = C(0,15 + 0,3) = 0,45C.$$

Тогда значение стоимости нижней границы при контроле параметров z_5, z_1, z_3 будет равно

$$C_H(z_5, z_1, z_3) = C(1 + 0,31 + 0,11 + 0,69 + 0,45) = 2,56C.$$

При контроле других последовательностей параметров вычисления осуществляются аналогично. Приведем результаты этих вычислений:

$$C_H(z_5, z_1, z_4) = 2,5C;$$

$$C_H(z_5, z_2, z_4) = 2,64C;$$

$$C_H(z_5, z_2, z_3) = 2,7C.$$

Анализ результатов вычислений стоимостей нижних границ показывает, что минимальной стоимостью будет обладать последовательность параметров z_5, z_1, z_4 .

S_i	z_i					$P(S_i)$	
	z_5	z_1	z_4	z_2	z_3		
S_1	0	0	0	0	1	0,2	} $S^{00}(z_5, z_1)$
S_2	0	1	0	0	1	0,05	
S_3	0	1	1	1	1	0,24	} $S^{01}(z_5, z_1)$
S_4	1	1	0	1	0	0,15	
S_5	1	1	0	1	1	0,06	} $S^{10}(z_5, z_4)$
S_6	1	1	1	1	1	0,3	

Преобразуем таблицу неисправностей в соответствии с результатами контроля последовательности параметров z_5, z_1, z_4 (табл. 8.20).

Из таблицы видно, что при отрицательном исходе контроля параметров z_5 и z_1 выделяется состояние S_1 , а при отрицательном исходе контроля z_5 и положительном z_1 необходимо следующим контролировать параметр z_2 (контроль параметра z_3 не позволяет разделить подмножество S^{01} на более мелкие).

При положительном исходе контроля параметров z_5 и z_4 выделяется состояние S_6 , а при положительном исходе контроля параметра z_5 и отрицательном z_4 необходимо контролировать параметр z_3 . Поскольку других вариантов нет, на этом заканчивается построение алгоритма поиска неисправностей, обладающего минимальной средней стоимостью (рис. 8.11).

Таким образом, последовательность контролируемых параметров z_5, z_1, z_4, z_2, z_3 дает среднюю стоимость $C_{\text{ср}} = 2,5 C$.

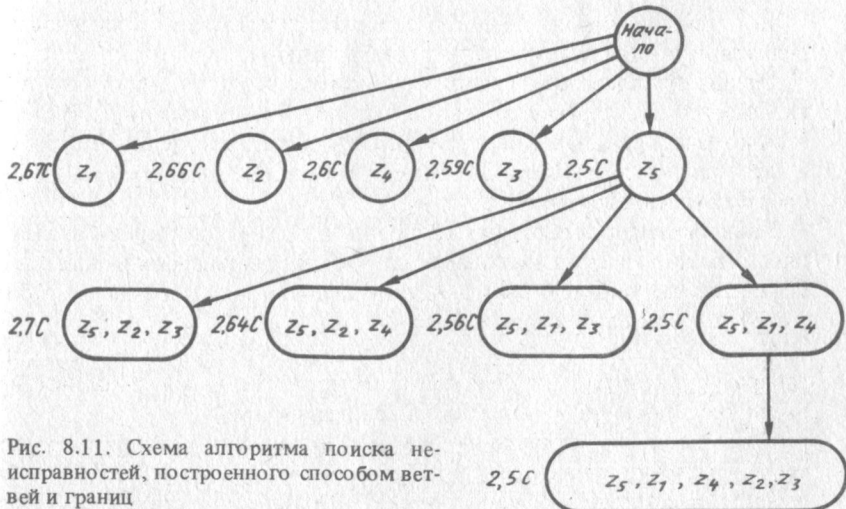


Рис. 8.11. Схема алгоритма поиска неисправностей, построенного способом ветвей и границ

Отметим, что при построении алгоритма поиска неисправностей этим методом значение средней стоимости нижней границы на последующих шагах всегда не меньше значения средней стоимости нижней границы на предыдущих шагах: $C_H(z_i, z_k, z_j) \geq C_H(z_i)$. Это условие используют для контроля правильности выполнения вычислений.

Приведенный вычислительный пример показывает, что применение способа ветвей и границ для построения алгоритмов поиска неисправностей в РЭА связано с большим объемом вычислений, которое значительно возрастает при увеличении числа функциональных элементов в диагностируемой аппаратуре. Поэтому реализация этого метода связана с применением вычислительных машин.

При неравных стоимостях контроля параметров стоимость нижней границы алгоритма поиска, начиная с контроля параметра z_i , вычисляется по формуле

$$C_H(z_i, S) = C_i \sum_{S_i \in S_K} P(S_i) + \sum_{\lambda=1}^{l-1} P_{\lambda}^* C_{l-\lambda}^* + \sum_{\nu=1}^{k-l-1} P_{\nu}^* C_{k-l-\nu}^* \quad (8.44)$$

где k — количество различных состояний диагностируемого объекта при контроле параметра z_i ; l — число различных состояний при отрицательном исходе контроля параметра z_i ; C^* — значение стоимости контроля в упорядоченной последовательности стоимостей $C_1^* < C_2^* < \dots < C_{\lambda}^* < \dots < C_l^*$,

Способ на основе иерархического принципа. Построение алгоритмов диагностирования по иерархическому принципу целесообразно использовать для бытовой РЭА со встроенными устройствами контроля. При данном способе N первичных функциональных элементов диагностируемого объекта разбиваются на k групп по N_1 элементов в каждой группе. Выходные параметры первичных функциональных элементов объединяются в одной точке с измерительным устройством и индикатором неисправности. Таких индикаторов будет k штук. Последние еще разбиваются на r групп по N_2 штук. Выходы N_2 индикаторов снова объединяются в одной точке с одним индикатором. Таких индикаторов будет r штук и т.д. В результате придем к одному индикатору неисправности.

В такой системе при выходе из строя функционального элемента объекта диагностики индикатор покажет неисправность диагностируемого объекта. Для обнаружения неисправного функционального элемента просматриваются показания индикаторов первой ступени и при обнаружении индикатора, указывающего на неисправность, просматриваются индикаторы следующей ступени, соединенные только с этим индикатором. Проверки продолжают в указанной последовательности до тех пор, пока не будет обнаружен неисправный первичный функциональный элемент (рис. 8.12). Поиск неисправного первичного функционального элемента по приведенной схеме позволяет значительно сократить время поиска по сравнению с поиском среди N элементов.

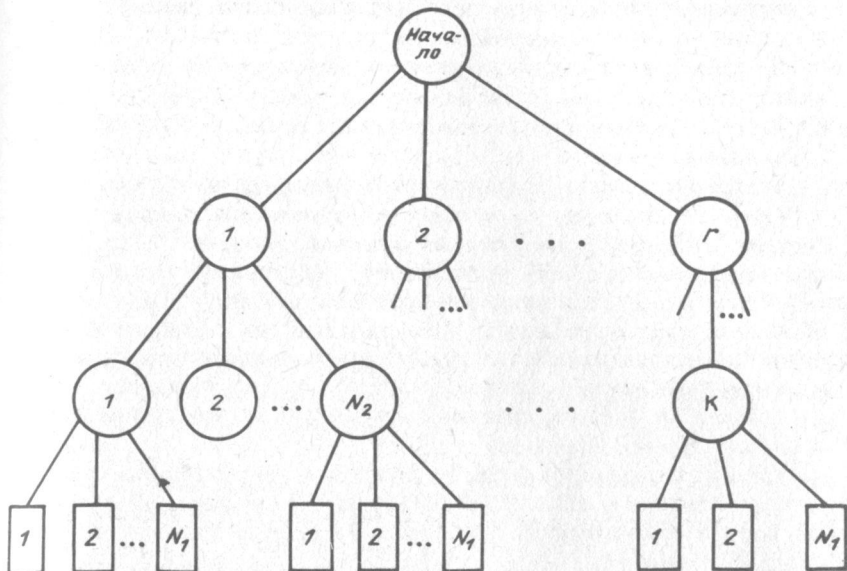


Рис. 8.12. Схема поиска неисправностей по иерархическому принципу

При одинаковой вероятности отказов функциональных элементов, одинаковом времени просмотра индикаторов неисправности и вероятности пропуска неисправного элемента, равной нулю ($P(N) = 0$), оптимальной по времени является бинарная схема поиска неисправности.

При вероятности пропуска неисправного элемента $P(N) \neq 0$ и таких же предположениях минимальное среднее время поиска неисправностей можно определить как

$$t_{\text{ср}} \min = \frac{\ln N}{\ln z} \left[\frac{1}{2} + \left(\frac{P(N)}{1 - P(N)} + \frac{1}{2} \right) z \right], \quad (8.45)$$

где $z = N^{\frac{1}{e}}$.

При $P(N) \rightarrow 0$ $t_{\text{ср}} \min = [(z + 1)/\ln z](\ln N/2)$ и достигает минимума при $z = 4$. Отсюда количество ступеней иерархии

$$e = \ln N / \ln z. \quad (8.46)$$

8.5. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

Из всех методов диагностирования бытовой РЭА наиболее эффективными являются интегральные методы, которые используют информацию, получаемую в динамических режимах работы аппаратуры. Они составляют большую группу методов, характеризующихся общими способами получения диагностической информации, использования исход-

ной информации и общими способами получения решения о техническом состоянии диагностируемой аппаратуры.

Интегральные методы диагностики основаны на использовании информации, получаемой на основе сравнения измеренных значений параметров диагностируемой аппаратуры с параметрами ее идеальной (эталонной) модели.

Рассмотрим основные интегральные методы диагностики.

Метод диагностики на основе ортогонального анализа отклика системы по базису гармонических функций. Известно [22], что динамические свойства любой радиотехнической системы можно описать ее откликом $h(t)$, т.е. функцией веса. Если при анализе функции веса $h(t)$ разложить ее по базису гармонических функций, которые являются ортогональными, т.е. разложить в ряд Фурье и установить аналитическую связь между коэффициентами ряда Фурье для отклика и параметрами диагностируемой системы, то на этой основе можно проводить диагностирование.

Отклик системы $h(t)$ является функцией действительного переменного t , заданного в области $t \geq 0$. Она равна нулю при $t < 0$, возрастает не быстрее показательной функции и не превышает некоторой затухающей экспоненты

$$|h(t)| < M e^{-c_0 t}, \quad (8.47)$$

где M и c_0 – постоянные, положительные и действительные числа.

Эти условия позволяют применить для функции $h(t)$ преобразование Лапласа:

$$H(P) = \int_0^{\infty} h(t) e^{-pt} dt;$$

$$h(t) = \frac{1}{2\pi j} \int_{c-j\infty}^{c+j\infty} H(P) e^{Pt} dP, \quad (8.48)$$

где функция $h(t)$ является оригиналом, а функция $H(p)$ – изображением по Лапласу.

Учитывая условие (8.47), в формулах (8.48) преобразования Лапласа можно положить $c = 0$ и $p = j\omega$. Тогда получим преобразование Фурье

$$H(j\omega) = \int_0^{\infty} h(t) e^{-j\omega t} dt;$$

$$h(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} H(j\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (8.49)$$

Преобразование Фурье неприменимо в случае возрастающих экспонент и колебаний с неограниченным ростом амплитуды.

Разложение функции веса $h(t)$ в ряд Фурье в комплексной форме имеет вид

$$h(t) = \sum_{-\infty}^{\infty} C_n e^{jn \frac{\pi}{t_0} t}, \quad (8.50)$$

где t_0 — длительность отклика $h(t)$; C_n — комплексные коэффициенты, определяемые по формуле

$$C_n = \frac{2}{t_0} \int_0^{t_0} h(t) e^{-jn \frac{\pi}{t_0} t} dt = \begin{cases} a_n - jb_n, & n > 0; \\ a_n + jb_n, & n < 0. \end{cases} \quad (8.51)$$

Здесь a_n и b_n — коэффициенты Фурье.

Выражение (8.51) можно рассматривать как преобразование Фурье $h(t)$, определяемое на интервале $[0, t_0]$ для функции C_n в точках $n=0, 1, 2, \dots$

Из сравнения выражений (8.48) и (8.51) получаем формулы для определения коэффициентов Фурье:

$$a_n = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re} \Phi [h(t)] = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re} [H(P)] \text{ при } P = \frac{n\pi}{t_0}; \quad (8.52)$$

$$b(n) = \frac{2}{t_0} \operatorname{Im} \Phi [h(t)] = \frac{2}{t_0} \operatorname{Im} [H(P)] \text{ при } P = \frac{n\pi}{t_0}. \quad (8.53)$$

Из выражения (8.52) следует, что для определения коэффициентов a_n и b_n разложения в ряд Фурье временной функции $h(t)$ необходимо выделить из изображения по Лапласу $\Phi \{h(t)\}$ вещественную и мнимую части. При этом для вычисления a_1 в вещественную часть $\operatorname{Re} H(p)$ необходимо вместо текущей частоты ω подставить выражение π/t_0 , для вычисления коэффициента a_2 вместо текущей частоты ω подставить выражения $2\pi/t_0$ и т.д.

Аналогично проводят вычисления коэффициентов b_1, b_2, \dots, b_n , но при этом используют выражение (8.53).

Если определить с помощью гармонического анализатора, настроенного на частоты $n\pi/t_0$, значения коэффициентов ряда Фурье, в который разлагается отклик, то можно решить и обратную задачу, т.е. по функции $h(t)$ определить передаточную функцию, ее коэффициенты, определить параметры диагностируемой системы.

Известно, что передаточная функция системы есть преобразование по Лапласу ее отклика. Производя с передаточной функцией аналогичные преобразования, можно определить коэффициенты a_n и b_n ряда Фурье.

Так как весовая функция $h(t)$ зависит от всех параметров диагностируемого объекта

$$h(t) = f(x_1, x_2, \dots, x_k),$$

для отыскания связей $h(t)$ с параметрами функцию $h(t)$ обычно раскладывают на гармонические составляющие.

Пусть $h(t) = 0$ при $t \geq t_0$. Продолжим ее четным образом. Тогда четную периодическую функцию $h(t)$ можно разложить в ряд Фурье по косинусам:

$$h(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cos \frac{n\pi}{t_0} t, \quad (8.54)$$

где

$$a_n = \frac{2}{t_0} \int_0^{t_0} h(t) \cos \frac{n\pi}{t_0} t dt.$$

Между откликом диагностируемого объекта и действительной частью частотной передаточной функции $Re(\omega)$ существует следующая зависимость [22]:

$$Re(\omega) = \int_0^{\infty} h(t) \cos \omega t dt. \quad (8.55)$$

Тогда из выражений (8.54) и (8.55) можно записать

$$Re[\omega, \{x\}] = \int_0^{\infty} h(t) \cos \omega t dt. \quad (8.56)$$

Сравнивая выражения (8.54) и (8.56), видим, что для фиксированных частот они отличаются только множителем $2/t_0$.

Отсюда получаем формулы, выражающие коэффициенты Фурье через фиксированные значения вещественной частотной передаточной функции диагностируемой системы:

$$a_n = \frac{2}{t_0} Re[\omega_n, \{x\}], \quad (8.57)$$

где $\omega_1 = \pi/t_0$; $\omega_2 = 2\pi/t_0$ и т.д.

Тогда будем иметь

$$h(t) = \frac{2}{t_0} \sum_{n=0}^{\infty} Re\left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\}\right) \cos \frac{n\pi}{t_0} t. \quad (8.58)$$

Разложение в ряд Фурье является жестким. Если возникает необходимость улучшить приближение, то добавляется очередной член ряда $n + 1$, а предыдущие члены остаются без изменения. Это является важным обстоятельством, которое позволяет использовать для диагностики конечное число членов расположения в ряд Фурье.

Известно, что для всякой ограниченной и кусочно-непрерывной функции, каковыми являются временные характеристики диагностируемой аппаратуры, ряд Фурье сходится в среднем к функции

$$a_1 = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re} \left(\frac{\pi}{t_0}, \{x\} \right); \quad (8.64)$$

$$a_n = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re} \left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\} \right),$$

где a_0, a_1, \dots, a_n — текущие значения коэффициентов Фурье, снимаемых с анализатора, на вход которого подано напряжение, соответствующее отклику диагностируемого объекта; $\operatorname{Re} \left(\frac{n\pi}{t_0}, \{x\} \right)$ — вещественная часть частотной передаточной функции.

Пример 8.7. Определить диагностируемые параметры по экспериментально определенным коэффициентам разложения отклика для видеоусилителя, описываемого передаточной функцией:

$$W(P) = \frac{\kappa}{T_2^2 P^2 + T_1 P + 1},$$

где $\{x\} = \kappa; T_1; T_2$ — диагностируемые параметры (вторичные).

Решение. Определим вещественную и мнимую части передаточной функции видеоусилителя:

$$W(j\omega) = \frac{\kappa}{1 + j\omega T_1 - \omega^2 T_2^2} = \frac{\kappa(1 - \omega^2 T_2^2) - j\omega T_1}{(1 - \omega^2 T_2^2)^2 + \omega^2 T_1^2};$$

$$\operatorname{Re}(n\Omega, \{x\}) = \frac{\kappa(1 - n^2 \Omega^2 T_2^2)}{(1 - n^2 \Omega^2 T_2^2)^2 + n^2 \Omega^2 T_1^2};$$

$$\operatorname{Im}(n\Omega, \{x\}) = \frac{\kappa j n \Omega T_1}{(1 - n^2 \Omega^2 T_2^2)^2 + n^2 \Omega^2 T_1^2};$$

$$\omega = n\Omega.$$

Для определения текущих значений диагностируемых параметров, используя действительную часть передаточной функции, составим систему уравнений:

$$a_1 = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re} \left(\frac{\pi}{t_0}, \{\kappa, T_1, T_2\} \right);$$

$$a_2 = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re} \left(\frac{2\pi}{t_0}, \{\kappa, T_1, T_2\} \right); \quad (8.65)$$

$$a_3 = \frac{2}{t_0} \operatorname{Re} \left(\frac{3\pi}{t_0}, \{\kappa, T_1, T_2\} \right),$$

где a_1, a_2, a_3 — значения коэффициентов с выхода анализатора.

Используя мнимую часть передаточной функции, получим другую систему уравнений:

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{2}{t_0} I_m \left(\frac{\pi}{t_0}, \{k, T_1, T_2\} \right); \\ b_2 &= \frac{2}{i_0} I_m \left(\frac{2\pi}{t_0}, \{k, T_1, T_2\} \right); \\ b_3 &= \frac{2}{t_0} I_m \left(\frac{3\pi}{t_0}, \{k, T_1, T_2\} \right). \end{aligned} \quad (8.66)$$

Решим систему уравнений (8.65) относительно коэффициентов a_1 и a_2 , а систему уравнений (8.66) – относительно b_1 и b_2 :

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{2}{t_0} \frac{k(1 - \Omega^2 T_2^2)}{(1 - \Omega^2 T_2^2)^2 + \Omega^2 T_1^2}; \\ a_2 &= \frac{2}{t_0} \frac{k(1 - 4\Omega^2 T_2^2)}{(1 - 4\Omega^2 T_2^2)^2 + 4\Omega^2 T_1^2}; \\ b_1 &= \frac{2}{t_0} \frac{k \Omega T_1}{(1 - \Omega^2 T_2^2)^2 + \Omega^2 T_1^2}; \\ b_2 &= \frac{2}{t_0} \frac{k 2\Omega T_1}{(1 - 4\Omega^2 T_2^2)^2 + 4\Omega^2 T_1^2}. \end{aligned}$$

В дальнейшем для упрощения вычислений используем относительные коэффициенты разложения:

$$B_1 = b_1/a_1, \quad B_2 = b_2/a_2, \quad \dots, \quad B_n = b_n/a_n.$$

Используя текущие значения относительных коэффициентов, составим систему уравнений

$$B_1 = \frac{\Omega T_1}{1 - \Omega^2 T_2^2}; \quad B_2 = \frac{2\Omega T_1}{1 - 4\Omega^2 T_2^2}.$$

Систему уравнений приведем к виду

$$\begin{cases} B_1 = T_1 \Omega + T_2^2 \Omega^2 B_1; \\ B_2 = 2T_1 \Omega + 4\Omega^2 T_2^2 B_2. \end{cases}$$

Решая систему уравнений относительно T_1 и T_2 , получим

$$T_1 = \frac{3B_1 B_2}{2\Omega(2B_2 - B_1)}; \quad T_2^2 = \frac{B_2 - 2B_1}{2\Omega^2(2B_2 - B_1)}.$$

Для определения коэффициента усиления к видеоусилителю воспользуемся уравнением

$$b_1 = \frac{2}{t_0} \frac{k \Omega T_1}{(1 - \Omega^2 T_2^2)^2 + \Omega^2 T_1^2}.$$

Отсюда

$$\kappa = \frac{b_1 t_0 [(1 - \Omega^2 T_2^2)^2 + \Omega^2 T_1^2]}{2\Omega T_1}.$$

Полученные значения параметров сравниваются с их номинальными значениями. Параметр, вышедший из допуска, и определяет место неисправности.

Метод диагностики на основе "белого шума". Интегральный метод диагностики на основе "белого шума" позволяет определить отклик диагностируемой системы во время ее нормальной работы, т.е. без отключения. Известно, что для "белого шума" автокорреляционная функция равна нулю при всех значениях τ , кроме точки $\tau = 0$, где случайная функция умножается сама на себя:

$$R_{11}(\tau) = \lim_{\tau \rightarrow \pm \infty} \int_{-\infty}^{\infty} U_{ш1}(t) U_{ш1}(t \pm \tau) dt, \quad (8.67)$$

где $U_{ш1}(t)$ — напряжение "белого шума" на входе диагностируемой системы.

Связь между напряжениями входа и выхода диагностируемой системы через отклик $h(t)$ определяется уравнением

$$U_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} U_1(t - \tau) h(\tau) d\tau. \quad (8.68)$$

Известно, что взаимная корреляционная функция входа и выхода системы выражается через автокорреляционную функцию

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{11}(\tau - t) h(t) dt. \quad (8.69)$$

После перемены местами аргументов τ и t получим

$$R_{12}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{11}(t - \tau) h(\tau) d\tau. \quad (8.70)$$

Если на вход системы подать стимулирующее напряжение

$$\delta(t) = U_1(t), \quad (8.71)$$

то уравнение (8.68) сильно упрощается и напряжение на выходе системы становится равным отклику диагностируемой аппаратуры:

$$U_2(t) = h(t). \quad (8.72)$$

Из сравнения выражений (8.68), (8.70) и (8.72) следует, что при подаче на вход диагностируемой аппаратуры сигнала в виде "белого шума", корреляционная функция которого является дельта-функцией $R_{11}(t) = \delta(t)$, взаимно корреляционная функция входа и выхода будет равна отклику системы:

$$R_{12}(t) = h(t). \quad (8.73)$$

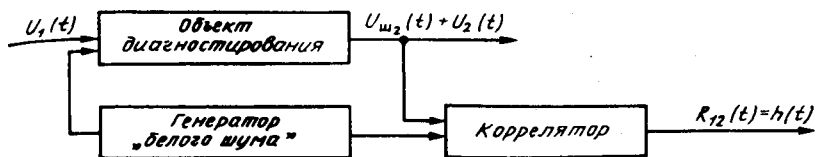


Рис. 8.13. Схема для определения отклика диагностируемой системы

Равенство (8.73) позволяет синтезировать схему (рис. 8.13), которая с помощью коррелятора может определять отклик системы по напряжению "белого шума" на ее входе.

Если на вход диагностируемой аппаратуры кроме "белого шума" подать напряжение $U_{c1}(t)$, то на ее выходе получим суммарный сигнал

$$U_2(t) = U_{ш2}(t) + U_{c2}(t), \quad (8.74)$$

где $U_{c2}(t)$ – напряжение, которое появляется на выходе контролируемой аппаратуры после прохождения через нее сигнала $U_{c1}(t)$; $U_{ш2}(t)$ – напряжение на выходе аппаратуры.

Взаимно корреляционная функция от напряжений $U_{c1}(t)$ и $U_{c2}(t)$ равна нулю, так как напряжение $U_{c1}(t)$ на вход коррелятора не подается.

Для автоматического получения взаимно корреляционной функции $R_{12}(t)$, а следовательно, и отклика $h(t)$ следует использовать схему, позволяющую определять отклик диагностируемой аппаратуры при любом виде внешнего сигнала $U_{c1}(t)$ на ее входе.

По полученной функции веса $h(t)$ диагностируемой аппаратуры (см. рис. 8.13) можно определить текущие параметры диагностируемого объекта, воспользовавшись одним из изложенных выше методов.

8.6. ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

В качестве основной характеристики контроля и диагностики часто рассматривают различные показатели достоверности. Это правомерно, поскольку достоверность позволяет оценивать важнейшее свойство контроля и диагностики – его способность давать правильные заключения о техническом состоянии диагностируемой аппаратуры.

Наиболее полной характеристикой средств контроля и диагностики в части эффективности принимаемых решений является достоверность диагностирования D или, точнее, достоверность полученной диагностической информации. Чем полнее и точнее эта информация, тем больше уверенность в том, что диагностируемая аппаратура работоспособна и правильно допущена к использованию по назначению или аппаратура неработоспособна и должна быть отремонтирована.

Информационный подход к понятию "достоверность" полно раскрывает его содержание.

Количественно достоверность может быть представлена произведением двух составляющих:

$$D = D_M D_N. \quad (8.75)$$

Методическая достоверность D_M — составляющая достоверности диагностики и контроля — определяется совокупностью контролируемых параметров, полнотой контроля, методикой диагностирования и принятыми критериями оценки технического состояния. Инструментальная достоверность D_N определяется параметрами средств контроля и диагностики.

В качестве показателей достоверности контроля и диагностики бытовой РЭА могут быть использованы ошибки первого и второго рода. Так же как и при контроле качества продукции, низкая достоверность контроля и диагностирования, характеризующая степень объективности оценки технического состояния аппаратуры диагностирования выбранными методами и диагностическим оборудованием, может привести к существенным ошибкам первого рода, т.е. к браковке исправных модулей и узлов бытовой РЭА, или ошибкам второго рода, т.е. к пропуску неисправных модулей и узлов диагностируемой аппаратуры [22]. В той или иной мере указанные ошибки существенно снижают эффективность технического обслуживания бытовой РЭА.

Так, ошибки первого рода приводят к неоправданным разборно-сборочным и проверочным работам, к удлинению сроков ремонта аппаратуры. Например, если бытовой телевизионный приемник диагностируется по четырем параметрам, а ошибка первого рода по каждому из них составляет $P_{1j} = 0,1$, то вероятность несхода телевизора на техническую линию прогона

$$P_1 = 1 - \prod_{j=1}^4 (1 - P_{1j}); P_1 = 1 - \prod_{j=1}^4 (1 - 0,1) = 0,34. \quad (8.76)$$

Из равенств (8.76) следует, что 34% телевизоров должны быть задержаны для устранения несуществующих неисправностей.

Ошибки второго рода, допускаемые при контроле и диагностике модулей и узлов бытовой РЭА, обуславливают низкое качество ремонта и вызывают повторные ремонты, так как неисправная аппаратура отправляется заказчику.

Ошибки первого и второго рода наряду с очевидными материальными потерями приводят к повышению трудоемкости контроля, диагностики и ремонта бытовой РЭА из-за возникновения несуществующих (при ошибках первого рода) и реальных (при ошибках второго рода) неисправностей. Ошибки первого и второго рода обусловлены многочисленными факторами, поэтому их количественные оценки могут быть только статистическими и задаваться как вероятности P_1 и P_2 .

Однако достоверность — характеристика односторонняя. Она, в частности, не позволяет оценивать влияние контроля и диагностики на качество работы диагностируемой аппаратуры. Поэтому введена

более общая характеристика контроля и диагностики – эффективность. Под эффективностью контроля и диагностики следует понимать в общем случае отношение эффективности работы диагностируемой аппаратуры при наличии и отсутствии контроля и диагностики. Такое определение позволяет рассматривать операции контроля и диагностики как один из элементов системы обслуживания технического объекта и оценивать его качество с этих позиций. При этом достоверность контроля и диагностики оказывается одним из многих факторов, влияющих на достоверную оценку работоспособности аппаратуры. Для оценки эффективности используют различные критерии, при этом наиболее часто применяют два основных подхода. В тех случаях, когда объект предназначен для выполнения конкретной задачи, наиболее естественным критерием является вероятность выполнения этой задачи.

Другой подход связан с введением некоторого показателя выигрыша, получаемого от применения объекта.

Для бытовой РЭА под эффективностью обычно понимают степень соответствия (приспособленности) системы контроля и диагностики к выполнению поставленной задачи. При этом наиболее удобными для оценки эффективности являются обобщенные критерии, отражающие в виде одной величины степень соответствия аппаратуры своему назначению и связанные со всеми ее характеристиками.

Обобщенные критерии эффективности характеризуют полезность системы и носят, как правило, экономико-статистический характер. При этом наиболее общими критериями эффективности системы контроля и диагностики бытовой РЭА являются экономические, учитывающие расходы на эксплуатацию, штрафы за неправильную работу или простой и доход от применения системы. Экономические критерии, такие, как стоимость, являются едва ли не единственной мерой, позволяющей оценить в одних единицах эффект влияния всех факторов, определяющих качество контроля и диагностики и целесообразность ее применения.

Применение обобщенных критериев для оценки эффективности упрощает задачи и математический аппарат оптимизации. Однако их использование встречается со сложностями приведения к единому масштабу эффекта от применения системы и затрат на ее создание и эксплуатацию. Поэтому при оценке эффективности системы контроля и диагностики следует рассматривать и систему частных критериев. Совокупность частных критериев для оценки эффективности контроля и диагностики можно разделить на четыре группы:

системные критерии, определяющие выходной эффект применения системы контроля и диагностики;

критерии надежности, определяющие способность аппаратуры контроля и диагностики сохранять и восстанавливать в заданных условиях эксплуатации требуемый уровень критериев первой группы;

техничко-экономические критерии, определяющие затраты на контроль и диагностику;

эргономические показатели, определяющие приспособленность системы контроля и диагностики к работе с ней человека.

Следует отметить, что контроль и диагностирование, изготовление и эксплуатация диагностической аппаратуры требуют значительных материальных затрат, которые могут быть признаны рациональными только при условии достижения определенного положительного эффекта. При этом эффективность диагностики необходимо оценивать еще на этапе разработки бытовой РЭА и диагностической аппаратуры.

Глава 9. СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ БЫТОВОЙ РЭА

9.1. ВИДЫ АППАРАТУРЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Для контроля и диагностики бытовой РЭА используют различную контрольно-измерительную аппаратуру общего применения и специальную диагностическую аппаратуру.

В качестве контрольно-измерительной аппаратуры общего применения используют тестеры, стрелочные и цифровые приборы, омметры, осциллографы, измерительные мосты постоянного и переменного тока, высокочастотные и низкочастотные генераторы, частотомеры, анализаторы спектра и другие приборы. Указанная аппаратура используется для измерения отдельных параметров (тока, напряжения, частоты и т.д.) элементов, модулей, узлов и блоков бытовой РЭА с заданной погрешностью.

Отечественная промышленность выпускает большое количество всевозможной контрольно-измерительной аппаратуры общего применения, сведения об устройстве и технических характеристиках которой приведены в литературе [29].

В качестве специальной диагностической аппаратуры используют аппаратуру, предназначенную для выполнения комплекса специализированных функций контроля и диагностики одного вида бытовой РЭА. Эта аппаратура разнообразна по конструктивному исполнению и выполняемым задачам контроля и диагностики.

В основу классификации аппаратуры контроля и диагностики положены следующие признаки:

- способ управления процессом контроля и диагностики;
- вид связи контрольно-измерительной аппаратуры с диагностируемой бытовой РЭА;
- принцип построения аппаратуры контроля и диагностики;
- вид обработки измерительной информации;
- назначение аппаратуры контроля и диагностики;
- степень универсальности аппаратуры контроля и диагностики;

вид представления результатов диагностирования;
порядок контроля параметров диагностируемой РЭА.

По способу управления процессом диагностирования различают аппаратуру:

- автоматического контроля и диагностики;
- автоматизированного контроля и диагностики;
- ручного контроля и диагностики.

Аппаратура автоматического контроля и диагностики обеспечивает проведение контроля и диагностики диагностируемой РЭА без непосредственного участия человека. Она является наиболее перспективной и все шире внедряется в процесс технического обслуживания. Как правило, такая аппаратура является программно-управляемой.

Аппаратура автоматизированного контроля и диагностики обеспечивает проведение контроля и диагностики с частичным участием человека: часть программы диагностирования реализуется автоматически, часть в ручную.

Аппаратура ручного контроля и диагностики обеспечивает проведение контроля и диагностики при непосредственном участии человека.

По виду связи диагностируемой РЭА с аппаратурой контроля и диагностики последняя подразделяется на автономную и встроенную.

Автономная аппаратура контроля и диагностики характеризуется тем, что ее функциональные системы конструктивно объединены и размещены отдельно от диагностируемой РЭА.

Встроенная аппаратура контроля и диагностики функционально размещена совместно с диагностируемой РЭА.

По принципу построения различают аналоговую, дискретную и смешанную аппаратуру контроля и диагностики.

В аналоговой аппаратуре контроля и диагностики работа всех функциональных систем осуществляется непрерывными электрическими сигналами. В ней широко используются конструктивные элементы и принципы работы аналоговой моделирующей аппаратуры. Достоинством аналоговой аппаратуры является высокая точность переработки измерительной информации, представленной в виде напряжений или токов, и высокое быстродействие выполнения отдельных операций (сравнение, умножение, деление и др.).

В дискретной аппаратуре контроля и диагностики работа всех функциональных систем осуществляется в дискретном коде. При этом вся информация о контролируемых параметрах предварительно преобразуется в требуемый код. В качестве дискретного кода в этой аппаратуре используется двоичный код. Достоинствами дискретной аппаратуры контроля и диагностики являются высокое быстродействие выполнения элементарных операций, неограниченная точность переработки измерительной информации, сравнительная легкость реализации автоматического программно-управляемого контроля.

В смешанной аппаратуре контроля и диагностики работа одной

части функциональных систем осуществляется в дискретном коде, а другой части — непрерывными электрическими сигналами.

По виду обработки измерительной информации различают аппаратуру контроля и диагностики с дискретной и аналоговой обработками.

Дискретная обработка измерительной информации в аппаратуре контроля и диагностики — это преобразование всей измерительной информации в требуемый код, выполнение логических и вычислительных операций по формированию оценок контролируемых параметров и регистрация результатов контроля и диагностики. В качестве выходных устройств при дискретной обработке используют дисплей, печатающие устройства, устройства записи на перфоленту или магнитную ленту и др.

Аналоговая обработка измерительной информации в аппаратуре контроля и диагностики — это преобразование всей измерительной информации в аналоговый вид, выполнение логических операций по формированию оценок контролируемых параметров, измерение параметров и регистрация результатов диагностирования. При этом в качестве выходных устройств такой аппаратуры для представления и регистрации результата используют световые и люминофорные табло, стрелочные приборы и самопишущие регистрирующие приборы.

Смешанный вид обработки представляет собой сочетание дискретной и аналоговой обработок измерительной информации.

Аппаратура контроля и диагностики может быть предназначена для решения следующих задач диагностирования:

- контроль технического состояния, поиск неисправностей;
- прогнозирование технического состояния;
- оценка текущей работоспособности.

По степени универсальности аппаратура контроля и диагностики делится на специализированную и универсальную.

Специализированная аппаратура контроля и диагностики предназначается для диагностирования бытовой РЭА одного вида. Решению этой задачи подчинены внутренняя структура построения аппаратуры и программа ее работы. Достоинством такой аппаратуры является простота ее конструкции.

Универсальная аппаратура контроля и диагностики предназначается для решения нескольких задач диагностирования различных типов РЭА. Это достигается выбором определенной программы ее работы и структуры построения аппаратуры.

По виду представления результатов диагностирования различают аппаратуру контроля и диагностики с качественными и количественными представлениями и регистрацией результата.

Качественное представление результата диагностирования по каждому параметру и по аппаратуре в целом с оценкой типа "годен" — "негоден", "в допуске" — "не в допуске", "больше допустимого" — "в до-

пуске" — "меньше допустимого" обычно выдается в виде визуальной индикации на табло.

Количественное представление результатов диагностирования осуществляется путем:

визуального представления числовой информации на табло, экранах электронно-лучевых трубок, стрелочных приборах и т.д.;

регистрации числовой информации на цифропечати, записи на магнитную ленту или фотобумагу и др.

По порядку контроля параметров диагностируемой бытовой РЭА различают аппаратуру последовательного и параллельного контроля параметров РЭА.

При разработке отдельных видов аппаратуры контроля и диагностики необходимо учитывать различные взаимосвязанные факторы, определяющие технические требования к ней. К числу таких факторов относятся:

цель диагностирования и назначение аппаратуры контроля и диагностики;

вид связи аппаратуры контроля и диагностики с диагностируемой бытовой РЭА;

допустимое время контроля и диагностирования;

надежность диагностируемой бытовой РЭА;

требуемая надежность аппаратуры контроля и диагностики;

минимальное взаимное влияние бытовой РЭА и аппаратуры контроля и диагностирования;

требуемая точность измерения параметров;

степень универсальности аппаратуры контроля и диагностики;

форма обработки измерительной информации;

вид представления результатов контроля и диагностирования;

пропускная способность системы диагностирования;

контролепригодность и ремонтпригодность бытовой РЭА;

периодичность перепроверки аппаратуры контроля и диагностики;

допустимое время подготовки аппаратуры контроля и диагностики к работе;

время непрерывной работы;

унификация конструктивного исполнения аппаратуры контроля и диагностики;

допустимая стоимость аппаратуры контроля и диагностики;

простота управления и эксплуатации аппаратуры контроля и диагностики, обслуживающий персонал.

Сущность указанных факторов, получение их количественных оценок и выделение взаимосвязи между собой совместно с техническими данными, характеризующими бытовую РЭА, обуславливают разработку аппаратуры контроля и диагностики, наиболее полно отвечающую задачам обеспечения технического обслуживания бытовой РЭА.

9.2. ЭЛЕКТРОННЫЕ ДАТЧИКИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

Электронный датчик является первичным звеном автоматической системы контроля и диагностики, обеспечивающим информационную связь с техническими параметрами диагностируемой РЭА.

Датчиком в широком смысле слова называют функциональные элементы (устройства), обеспечивающие пассивную или активную информационную связь между диагностируемой РЭА и системой контроля и диагностики. Датчики делятся на пассивные и активные.

Пассивный датчик обычно является преобразователем контролируемой величины в выходной сигнал, удобный для дистанционной передачи и дальнейшей обработки.

Активный датчик обычно представляет собой генератор стимулов или формирователь физических воздействий, сигнал которого приводит контролируемый объект в режим, близкий к рабочему.

В автоматизированных системах контроля и диагностики наиболее распространены электромеханические и электронные датчики.

Электромеханические датчики — это в основном преобразователи неэлектрических величин в электрические сигналы (например, температуры, давления, влажности и т.д.).

Электронные датчики обеспечивают согласованную информационную активную или пассивную связь между электрическими, магнитными, радиочастотными параметрами диагностируемого объекта и системой контроля и диагностики.

Диагностируемая аппаратура и аппаратура контроля и диагностики связаны между собой тремя видами связей: информационной, конструктивной и энергетической.

Информационная способность датчика обычно зависит от погрешности. Количество информации, выдаваемое датчиком, можно определить как

$$I = \log \left(\frac{100}{2\gamma} + 1 \right), \quad (9.1)$$

где γ — относительная погрешность датчика в процентах (с увеличением погрешности γ количество информации, получаемое от датчика, уменьшается).

Конструктивные связи определяются размерами датчика, разъемами, удобством обслуживания при эксплуатации.

Энергетические связи обуславливаются питающими напряжениями.

По назначению датчики делятся на три больших класса: измерительные преобразователи, датчики допускового контроля и генераторы стимулов.

К измерительным преобразователям относят датчики, которые с определенной погрешностью однозначно преобразуют одну электрическую величину (x) в другую (y). По конструкции они разнообразны — это полупроводниковые детекторы и термопары в виде одного эле-

мента, в виде сложных блоков или устройств, осуществляющих многофункциональные преобразования таких величин, как коэффициент шума или коэффициент стоячей волны напряжения, в пропорциональное значение напряжения.

Измерительные преобразователи, снабженные индикаторами, часто называют автономными встроенными приборами.

Особую группу измерительных преобразователей составляют нормализаторы, масштабные преобразователи, которые реализуют функцию

$$y = kx, \quad (9.2)$$

где k — коэффициент передачи, который может быть больше или меньше единицы.

Датчики допускового контроля используются в системах контроля и диагностики параллельного действия, когда каждый параметр непрерывно контролируется датчиком по методу "в норме" — "не в норме". Они рассчитываются на входные сигналы в виде напряжений постоянного или переменного тока, видеоимпульсов положительной полярности, а также временных интервалов и частоты.

Генераторы стимулирующих сигналов — это датчики, с помощью которых вырабатываются контрольные сигналы, воздействующие на объект диагностирования и приводящий его в режим, близкий к реальному. Обычно генератор стимулов выдает калиброванный по основным параметрам сигнал на вход объекта диагностики, а на выходе этого объекта устанавливается измерительный преобразователь, который преобразует сигнал генератора стимулов, прошедший через объект диагностирования, к виду, удобному для обработки в системе контроля и диагностики.

Кроме того, электронные датчики можно подразделить по следующим параметрам:

- конструкции;
- питанию (автономные, внешние);
- управлению (управляемые, неуправляемые);
- погрешности (прецизионные, рабочие, индикаторные);
- виду выходного сигнала (токовые, частотные, кодовые);
- типу съемных элементов и другим признакам.

Независимо от назначения и типа датчики должны удовлетворять определенным требованиям, таким, как обеспечение необходимой точности, быстродействия, надежности, стабильности характеристик, помехоустойчивости.

Требования к точностным характеристикам датчиков определяются из эффективности всего процесса контроля и диагностики, которая оценивается обобщенным информационно-статистическим критерием

$$\mathcal{E} = \left(\sum_{i=1}^n H_{0i} - \sum_{i=1}^n H_i \right) / \sum_{i=1}^n H_{0i}, \quad (9.3)$$

где $H_{oi} = -[P_{oi} \log P_{oi} + (1 - P_{oi}) \log (1 - P_{oi})]$ и $H_i = -[P_i \log P_i + (1 - P_i) \log \chi \times (1 - P_i)]$ — энтропии объекта диагностики по i -му параметру до диагностирования и по окончании диагностирования соответственно; P_{oi} , P_i — априорная и апостериорная вероятности безотказной работы объекта диагностики по i -му параметру.

При определении вероятностей безотказной работы необходимо учитывать вероятности ложного P_α и необнаруженного P_β отказа объекта диагностики.

Вероятности ложного и необнаруженного отказа P_α и P_β диагностируемого объекта зависят от метрологических и статистических свойств функциональных устройств системы контроля и диагностики, таких, как погрешности измерения, закона распределения погрешности, соотношения между погрешностями системы контроля и диагностики и допустимыми пределами изменения контролируемых параметров диагностируемого объекта, вероятности безотказной работы аппаратуры контроля и диагностики.

Зная статистические характеристики контролируемого параметра и погрешности функциональных устройств системы контроля и диагностики, можно определить значение допустимой погрешности датчика через информационно-статистический критерий.

Для решения задачи распределения составляющих погрешности между датчиком и другими функциональными устройствами системы контроля и диагностики можно использовать понятие метрологической энтропии, которая для случая равновероятных и независимых сигналов может быть определена как

$$H(A) = \log \left(\frac{50}{\gamma} + 1 \right) = \log \left(\frac{A_{\max} - A_{\min}}{\Delta A} \right), \quad (9.4)$$

где γ — относительная погрешность в процентах; $\Delta A = \frac{2\gamma}{100} A_{\max}$ — разрешающая способность датчика.

Потери информации при использовании датчика с заданной погрешностью можно выразить через информационный коэффициент полезного действия

$$\eta_{gi}(H) = H_{gi}(A) / H_{ni}(A), \quad (9.5)$$

где $H_{gi}(A)$ и $H_{ni}(A)$ — энтропия на выходе и входе датчика.

Если предположить, что датчик идеальный, т.е. имеет бесконечно малую погрешность, то

$$\eta_{oi}(H) = H_{oi}(A) / H_{ni}(A), \quad (9.6)$$

где H_{oi} — метрологическая энтропия системы контроля и диагностики по i -му параметру.

Потери информации, обусловленные использованием датчика, можно вычислить в относительных единицах по формуле

$$\Delta \Pi = \frac{\eta_{oi}(H) - \eta_{gi}(H)}{\eta_{oi}(H)} = \frac{H_{oi}(A) - H_{ni}(A)}{H_{oi}(A)} \quad (9.7)$$

Зная относительные потери информации, можно оценивать степень согласованности объекта диагностики и системы контроля и диагностики по каждому i -му параметру, т.е. определять, какую долю суммарной погрешности следует отнести на датчик при заданном значении средних потерь информации по i -му параметру.

Реальное значение потерь информации, выраженное через $\Delta \Pi$, может изменяться в пределах $1 \dots 0,5$.

От закона распределения случайной погрешности датчика, особенно когда она является определяющей, существенно зависит правильность корректировки допуска на параметр, которая обязательно должна проводиться после выбора датчика по погрешности. Поэтому при применении конкретного типа датчика необходимо знать закон распределения его погрешности. Необходимо также учитывать влияние как внезапных, так и постепенных отказов, что позволит правильно определить периодичность проверки допустимых пределов изменения контролируемых параметров датчиков и сформулировать требования к устройствам самоконтроля.

Одним из важнейших требований к датчику является линейная зависимость выходного унифицированного сигнала от контролируемой величины. Некоторые датчики обладают существенно нелинейными, например квадратичными, характеристиками преобразования. Этот недостаток можно устранить, применяя дополнительный функциональный преобразователь с нелинейными элементами, которые компенсируют нелинейность характеристики датчика. Линеаризацию характеристик датчиков можно осуществлять в вычислительных устройствах системы контроля и диагностики.

При применении датчиков большое значение имеют вопросы гальванического разделения входа и выхода датчика, а также обеспечение его помехоустойчивости.

Функцию преобразования датчика при определенных допущениях можно представить квазилинейной зависимостью

$$y = y'_0 + sx, \quad (9.8)$$

где s — крутизна передаточной характеристики датчика, определяющая его чувствительность; y_0 — начальное значение функции преобразования при $x = 0$.

В реальных условиях текущее значение крутизны $s = s_0 (1 - \gamma_s)$ и начальное значение функции преобразования $y'_0 = y_0 + \Delta y$ отличаются от их номинальных значений s_0 и y_0 . Здесь Δy и γ_s — абсолютная аддитивная и относительная мультипликативная погрешности датчика. Наличие этих погрешностей нарушает однозначную связь между входной и выходной величинами датчика.

Причинами нестабильности y и s могут быть различные условия градуировки и эксплуатации, временная нестабильность схемных эле-

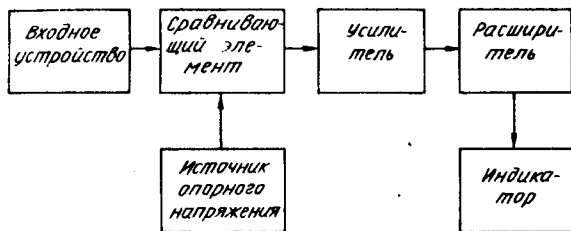


Рис. 9.1. Структурная схема датчика допускового контроля

ментов, нестабильность питающих напряжений и другие случайные факторы, которые нельзя учесть.

Датчики допускового контроля. Датчиками допускового контроля называют устройства, оценивающие выходной сигнал по методу "меньше" — "больше" или "меньше" — "норма" — "больше".

На сравнивающий элемент автономного датчика допускового контроля (рис. 9.1) подается входной контролируемый сигнал и напряжение от опорного источника. При этом, если контролируемый сигнал превышает уровень опорного напряжения, то на выходе сравнивающего элемента появляется импульсный сигнал "больше", который усиливается, расширяется по длительности и вызывает срабатывание индикаторного элемента. Часто в состав датчика допускового контроля входит и источник питания.

Датчики допускового контроля, предназначенные для работы в системах встроенного контроля с центральной индикацией, не имеют автономных индикаторных элементов и источников опорного напряжения. Выходной сигнал датчика в этом случае можно получить в виде двух уровней постоянного напряжения или видеопульсов. В большинстве случаев состоянию контролируемого параметра "в норме" соответствует отсутствие сигнала на выходе датчика, а состоянию "не в норме" — наличие сигнала.

Основу датчика допускового контроля составляет сравнивающий элемент, к важнейшим параметрам которого относятся:

порог чувствительности, т.е. минимальное значение сравниваемых величин, которое вызывает устойчивое срабатывание сравнивающего элемента;

нестабильность под действием внешних факторов;

быстродействие, определяющее время запаздывания выходного сигнала относительно момента сравнения входного и опорного сигналов.

Схемы сравнения датчиков могут быть выполнены как на линейных, так и на нелинейных элементах.

Пример 9.1. Диодная схема сравнения (рис. 9.2). В исходном состоянии диод $VD1$ заперт опорным напряжением U_0 . При $U_{вх} > U_0$ диод VD открывается и на нагрузке R_H появляется напряжение $U_{вых}$. В этой схеме напряжение $U_{вых}$ нарастает плавно и момент сравнения фикси-

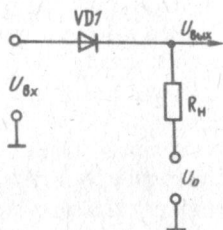


Рис. 9.2. Диодная схема сравнения

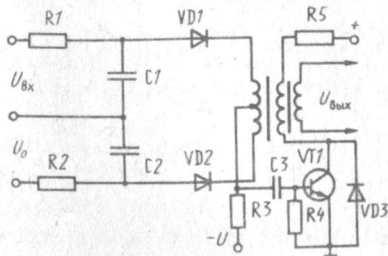


Рис. 9.3. Диодно-регенеративная схема сравнения

руется нечетко. Применение положительной обратной связи устраняет этот недостаток схемы.

Пример 9.2. Диодно-регенеративная схема сравнения (рис. 9.3). На вход датчика $R1$ подается контролируемое напряжение $U_{ВХ}$, а на $R2$ — опорное напряжение U_0 . В момент, когда $U_{ВХ} < U_0$, динамическое сопротивление диода $VD1$ меньше, чем диода $VD2$, и в схеме преобладает отрицательная обратная связь, блокинг-генератор на транзисторе $VT1$ находится в заторможенном состоянии. Когда $U_{ВХ} \geq U_0$, динамическое сопротивление диода $VD2$ уменьшается, блокинг-генератор возбуждается и на выходной обмотке появляются импульсы, несущие информацию об уровне контролируемого сигнала.

Диодно-регенеративная схема работает при малом токе коллектора, составляющем в статическом режиме не более 100–150 мкА, и имеет чувствительность единицы милливольт. Схема имеет большое входное сопротивление и может работать на малые сопротивления нагрузки (сотни, десятки ом).

Современные датчики допускового контроля обычно выполняются с использованием интегральных микросхем.

Датчики контроля чувствительности приемных устройств. Работоспособность приемных устройств оценивают значением реальной или предельной чувствительности. В условиях эксплуатации чувствительность приемника может изменяться в результате ухода параметров схемы вследствие старения или под воздействием внешних факторов, которые приводят к увеличению собственных шумов приемника. Это изменение может быть определено только инструментально.

Предельная чувствительность определяется собственными шумами и определяется с помощью калиброванного синусоидального сигнала соответствующей частоты, а также измерением коэффициента шума, который связан со значением предельной чувствительности следующим образом:

$$P_{\text{пр min}} = N_{\text{ш}} K T \Delta f, \quad (9.9)$$

где $N_{\text{ш}}$ — коэффициент шума; K — постоянная Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$); T — абсолютная температура; Δf — полоса пропускания приемника.

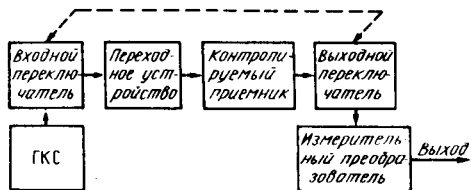


Рис. 9.4. Структурная схема контроля чувствительности приемника

Сигнал на входе приемника $x(t)$ можно считать равным сумме полезного сигнала $x_c(t)$ со спектральной плотностью $W_c(\omega)$ и собственных шумов приемника $U_{ш}(t)$, пересчитанных ко входу, со спектральной плотностью $W_{ш}(\omega)$:

$$x(t) = x_c(t) + U_{ш}(t). \quad (9.10)$$

Собственные шумы искажают полезный сигнал, и их значение определяет чувствительность.

Схема контроля чувствительности приемника должна содержать генератор с калиброванным выходом, который на время измерения подключается ко входу приемника, и измеритель отношения сигнал/шум на выходе.

Автоматические методы контроля чувствительности также требуют использования датчиков калиброванного (монохроматического) сигнала или шумового напряжения и преобразователя выходного напряжения приемника в постоянное напряжение, пропорциональное значению измеряемой чувствительности в микровольтах или коэффициента шума в децибелах.

В схеме контроля чувствительности приемника (рис. 9.4) генератор калиброванного сигнала (ГКС) предназначен для формирования стабильного по уровню и частоте напряжения. С помощью переходного устройства в виде направленного ответвителя выходной сигнал ГКС уменьшается до значения, необходимого для определения чувствительности. Переключатели на входе и выходе схемы синхронно включают ГКС и одновременно подключают измерительный преобразователь к выходу приемника. Измерительный преобразователь выдает информацию о чувствительности или коэффициенте шума приемника и представляет собой сложное электронное устройство.

Процесс измерения чувствительности состоит в определении амплитуды входного сигнала, увеличивающего выходной сигнал приемника (в требуемое число раз) по отношению к его собственным шумам.

При использовании в качестве ГКС генераторов синусоидальных сигналов суммарная погрешность контроля чувствительности составляет 1–2 дБ и определяется:

- погрешностью установки начального уровня генератора;
- стабильностью выходного напряжения генератора;
- погрешностью калибровки;
- погрешностью за счет расстройки относительно несущей частоты;

погрешностью измерительного преобразователя.

Использование генераторов шума в качестве ГКС позволяет уменьшить погрешность измерения чувствительности приемника до 0,25 дБ. При этом суммарная погрешность будет определяться:

погрешностью калибровки генератора шума;
неравномерностью спектральной плотности мощности шума;
погрешностью за счет отражений в тракте;
погрешностью измерительного преобразователя.

Таким образом, погрешность измерения чувствительности приемника в основном определяется типом применяемого ГКС.

9.3. КОММУТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

В современных системах контроля и диагностики переключение входных сигналов осуществляется автоматически с помощью коммутирующих устройств.

Коммутирующее устройство можно рассматривать как преобразователь информации, распределенной в пространстве, в информацию во времени.

Для многоканальной коммутации электрических сигналов применяют устройства, построенные на различных ключевых элементах, состояние и параметры которых могут изменяться в больших пределах. Идеальным является такой ключ, который не содержит каких-либо источников сигналов и принимает в крайних своих состояниях значения параметров, равные нулю или бесконечности, при этом время переключения равно нулю. В коммутаторе, построенном на идеальных ключах, не возникают искажения при передаче сигналов независимо от их вида и других свойств. Реальные коммутаторы требуют учета различных ограничений, вызываемых применением контактных типов ключей, схем соединения, а также видов коммутирующих сигналов.

Основными параметрами коммутатора, определяющими его свойства, являются:

абсолютная погрешность, определяемая как разность сигналов на входе и выходе коммутатора:

$$\Delta A = A_{\text{вх}} - A_{\text{вых}} \quad (9.11)$$

или его относительная погрешность

$$\delta_{\text{к}} = (A_{\text{вх}} - A_{\text{вых}})/A_{\text{вх}}; \quad (9.12)$$

число каналов коммутатора;
время переключения одного канала (быстродействие);
входное и выходное сопротивления;
входная емкость;
надежность работы коммутатора.

Наиболее простыми являются коммутаторы, у которых выходы всех каналов соединены параллельно (рис. 9.5). Входы такого комму-

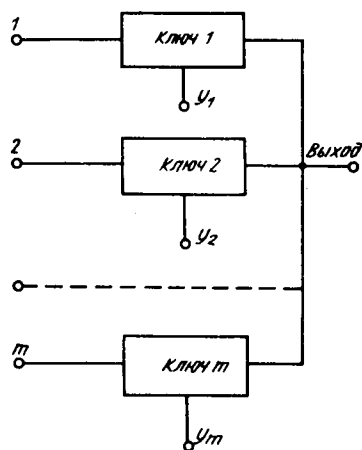


Рис. 9.5. Структурная схема параллельного коммутатора

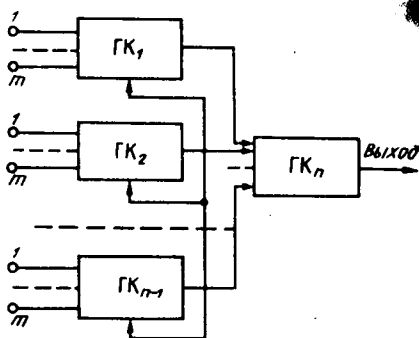


Рис. 9.6. Структурная схема пирамидального коммутатора

татора связаны с выходом посредством ключей. При этом каждый ключ может иметь только два состояния: открытое и закрытое. Управление состоянием ключей в таких коммутаторах осуществляется со входов управления y_1, y_2, \dots, y_m . Обычно один канал коммутатора находится в замкнутом, а остальные — в разомкнутом состояниях. Ключи коммутатора оказывают друг на друга взаимное влияние. Так, разомкнутые каналы сигналами и выходными сопротивлениями влияют на замкнутые каналы. Это влияние пропорционально числу каналов, находящихся в разомкнутом состоянии. При большом числе каналов погрешность коммутатора может оказаться значительной и ее надо учитывать.

Для уменьшения взаимного влияния ключей в коммутаторе отдельные группы ключей соединяют в пирамиду. Такие коммутаторы называют пирамидальными или многоступенчатыми (рис. 9.6). Основной функциональной единицей пирамидального коммутатора является групповой коммутатор (ГК), аналогичный по своему составу и принципу работы коммутатору, приведенному на рис. 9.5.

Общее число каналов пирамидального коммутатора

$$N = m(n - 1), \quad (9.13)$$

где m — число каналов в групповом коммутаторе; n — число групповых коммутаторов.

Если все групповые коммутаторы управляются параллельно, то общее число закрытых каналов, взаимодействующих с открытым,

$$K_k = m + n - 2. \quad (9.14)$$

Из формулы (9.14) видно, что в пирамидальном коммутаторе коли-

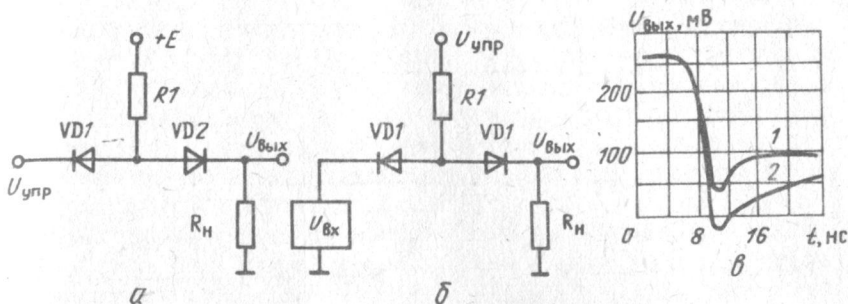


Рис. 9.7. Схема диодных ключей тока (а), напряжения (б), а также осциллограмма (в) переходного процесса ключа тока для диода Шоттки КД514А (1) и диода с тонкой базой 2Д503Б (2)

чество взаимодействующих каналов существенно меньше, чем в параллельном.

Элементы ключевых схем коммутаторов. В зависимости от схемного построения ключи различают по используемым в них полупроводниковым элементам и способам управления. В настоящее время наиболее распространены ключи на диодах, биполярных и полевых транзисторах.

Диодные ключи применяют для точного переключения токов и быстрого переключения напряжений. Первое применение объясняется высокой точностью диодных токовых ключей и легкостью управления ими. Второе связано с появлением диодов с тонкой базой и диодов Шоттки, в которых слабо выражены эффекты накопления носителей, а инерционность в основном определяется процессом перезарядки барьерных емкостей.

В диодном ключе тока (рис. 9.7, а) при высоком уровне управляющего напряжения диод $VD1$ закрыт и ток источника сигнала течет через диод $VD2$ в нагрузку. При низком уровне управляющего напряжения открыт диод $VD1$, а диод $VD2$ закрыт. Практически необходимый перепад управляющего напряжения на катоде $VD1$ составляет 1,6–2 В. В сочетании с хорошими скоростными качествами диодов и малостью R_n это обеспечивает большую скорость переключения (рис. 9.7, в).

Рассмотренный диодный ключ может работать и как ключ напряжения (рис. 9.7, б). При этом напряжение смещения ключа определяется разностью напряжений смещения отдельных диодов и в случае использования согласованных диодных пар может быть порядка нескольких милливольт [27].

Наиболее распространенными диодными ключами напряжения являются мостовые ключи (рис. 9.8), обладающие, как правило, достаточно хорошей развязкой в разомкнутом состоянии и способные пропускать без существенных искажений широкополосные биполярные

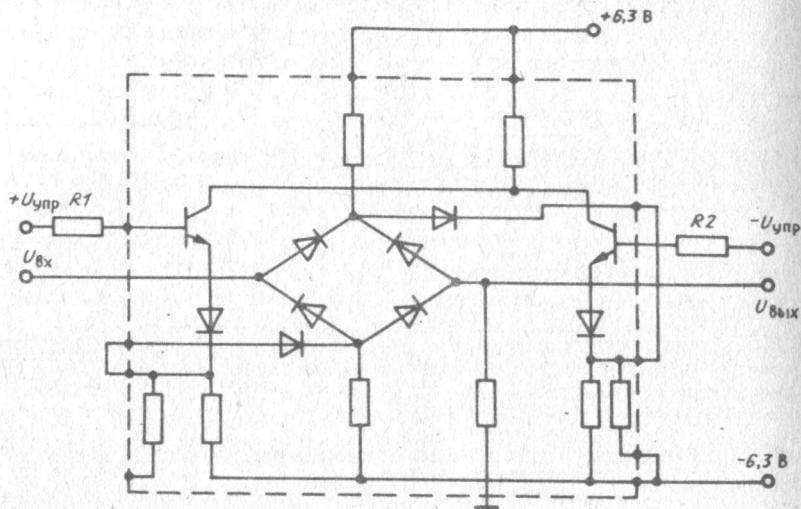


Рис. 9.8. Схема мостового 6-диодного ключа 2КД651

сигналы с динамическим диапазоном 40 дБ и выше. Скорость их переключения зависит от быстродействия как управляющих транзисторных каскадов, так и используемых диодов.

Недостатками мостовых ключей являются необходимость в симметричных биполярных управляющих напряжениях и определенные трудности балансировки схемы. Неидентичность вольт-амперных характеристик диодов и неравенство токов смещения приводят к появлению напряжения смещения на выходе ключа, которое в схемах на дискретных элементах трудно сделать меньше 10–30 мВ [26]. В имеющихся интегральных матрицах диодов разброс прямых ветвей вольт-амперных характеристик составляет порядка единиц милливольт, однако их быстродействие уступает быстродействию диодов в дискретном исполнении.

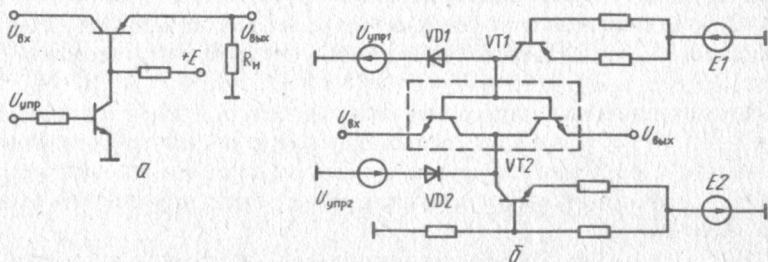


Рис. 9.9. Схемы последовательного ключа на биполярном транзисторе в инверсном включении (а) и управлении интегральным прерывателем на генераторах тока (б)

Ключи на биполярных транзисторах применяются для переключения как напряжений, так и токов. В ключах напряжения, как правило, используется режим насыщения в инверсном включении транзистора (рис. 9.9, а). Ключи реализуют как на одиночных транзисторах, так и на согласованных парах встречно включенных двуэмиттерных транзисторов, получивших название интегральных прерывателей.

Ключи на одиночных транзисторах обычно имеют управление по постоянному току. Избыточный ток базы течет в источник сигнала, поэтому, чтобы статическая погрешность ключа была малой, малым должно быть и выходное сопротивление источника сигнала. Напряжение смещения таких ключей составляет 0,3–2 мВ, прямое сопротивление колеблется от единиц до десятков ом, время переключения — порядка 100 нс. Двуэмиттерный транзистор имеет существенно меньшее остаточное напряжение, чем одиночный, так как остаточное напряжение обоих транзисторов интегрального прерывателя компенсируется. Но его прямое сопротивление больше, чем у одиночного транзистора. Например, у интегрального прерывателя 1КТ011А остаточное напряжение меньше 50 мкВ, а прямое сопротивление $R_{пр} \leq 100$ Ом. Время переключения при этом составляет порядка 0,5 мкс.

Для эффективной компенсации остаточных параметров интегральных прерывателей требуется, чтобы через каждый транзистор протекали одинаковые токи. Для этого приходится усложнять схему управления. Наиболее простыми являются трансформаторные схемы, однако они малопригодны для микроминиатюризации. Схема с генераторами тока в цепи управления (рис. 9.9, б) позволяет обойтись без трансформатора. В этой схеме при запираии диодов $VD1$ и $VD2$ переключатель вводится в насыщение токами транзисторов $VT1$ и $VT2$, работающих в режиме генераторов постоянного тока. При изменении полярности управляющего напряжения токи транзисторов $VT1$ и $VT2$ переключаются в цепь управления, а напряжение на диодах $VD1$ и $VD2$ обеспечивает разомкнутое состояние ключа.

Ключи на биполярных транзисторах используются; например, в микросхемах серий 273 и 240.

В настоящее время наибольшее распространение получили ключи на полевых транзисторах с управляющими p - n -переходами и МОП-структурах. Это обусловлено такими их преимуществами, как отсутствие напряжений смещения, малые токи утечки и управления, хорошая совместимость с интегральной технологией.

В ключах, как правило, используются транзисторы с n -каналом, так как подвижность электронов больше подвижности дырок, что обеспечивает у них меньшие значения прямого сопротивления ($R_{пр}$ для полевых транзисторов составляет 5–200 Ом).

Диод в схеме последовательного ключа на полевом транзисторе (рис. 9.10) обеспечивает равным нулю напряжение затвор-исток открытого транзистора при любых входных сигналах. Это устраняет моду-

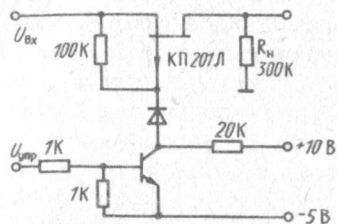


Рис. 9.10. Схема последовательного ключа на-
пряжения на полевом транзисторе

ляцию $R_{пр}$ входным сигналом. При использовании транзистора КП201Л ключ имеет следующие характеристики [28]:

Прямое сопротивление	0,3–0,6 кОм
Ток утечки закрытого ключа	2–10 нА
Время включения	1,5 мкс
Время выключения	1 мкс

Ключи на МОП-транзисторах имеют одно существенное преимущество перед ключами на полевых транзисторах с $p-n$ -переходами: они более пригодны для интегрального исполнения с высокой степенью интеграции [26], позволяющей получать на одном кристалле несколько ключей (часто вместе с управляющими цепями).

В отличие от полевых транзисторов с $p-n$ -переходами МОП-транзисторы имеют четыре разновидности. Подобно полевым транзисторам они могут иметь p - или n -канал, а, кроме того, работать либо с обеднением, либо с обогащением канала (первые называют МОП-транзисторами со встроенным каналом, а вторые – с индуцированным каналом).

Промышленностью выпускается ряд интегральных ключей на МОП-транзисторах, которые предназначены для коммутации напряжений и токов. Приведем некоторые примеры. Интегральная микросхема ИС1КТ681 представляет собой двоянные ключи на p -канальных МОП-транзисторах, а ИС1КТ682 состоит из четырех таких же ключей с самостоятельными входами, выходами и цепями управления. Отдельный ключ имеет следующие параметры [26]:

Прямое сопротивление	Не более 100 Ом
Пороговое напряжение	3–6 В
Время включения	Не более 0,3 мкс
Время выключения	Не более 0,7 мкс

Отсутствие формирователей управляющих напряжений делает эти микросхемы несовместимыми с ТТЛ-схемами. Схема интегрального двухканального ключа 1КТ431 (рис. 9.11, а) представляет собой два независимых аналоговых ключа на p -канальных МОП-транзисторах с устройствами формирования управляющих напряжений, позволяющими использовать для переключения каналов уровни ТТЛ-схем. Каждый ключ ИС1КТ431 имеет следующие параметры:

Прямое сопротивление	Не более 100 Ом
Время включения	" " 2 мкс
Время выключения	" " 1,6 мкс

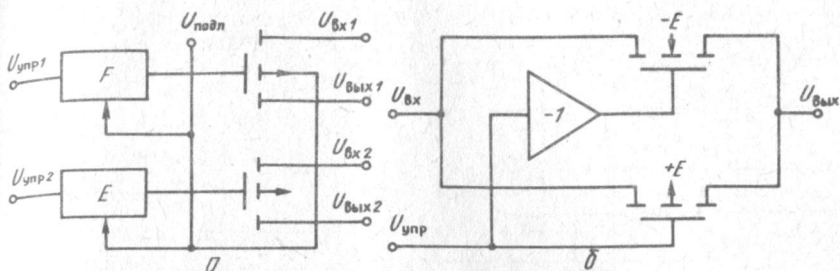


Рис. 9.11. Схемы интегрального двухканального ключа ИКТ431 (а) и ключевого элемента на КМОП-транзисторе (б)

Недостатками МОП-ключей являются зависимость сопротивления открытого ключа от коммутирующего напряжения и значительные прохождения управляющих сигналов на выход. Первое приводит к сужению динамического диапазона коммутируемых сигналов, второе ограничивает быстродействие, а также затрудняет использование рассмотренных МОП-ключей для коммутации сигналов низкого уровня.

Указанные недостатки преодолеваются в ключах на комплементарных МОП-транзисторах (КМОП-транзисторах), состоящих из параллельно включенных р- и n-канального МОП-транзисторов (рис. 9.11, б).

Схемы многоканальных коммутаторов. Многоканальный коммутатор представляет собой устройство с одним выходом и многими входами, на которые можно подать последовательно во времени любой из входных сигналов. Он состоит из набора ключей, устройства управления этими ключами и выходного согласующего каскада (рис. 9.12).

Примером быстродействующего 5-канального коммутатора на МОП-транзисторах является ИС1КТ901, обладающая следующими параметрами:

Прямое сопротивление	Не более 300 Ом при $U_{зи} = -20$ В
Пороговое напряжение отдельного транзистора	„ „ 6 В
Ток утечки закрытого канала	„ „ 100 нА при температуре 25°С
Суммарный ток закрытых каналов	Не более 250 нА
Входная емкость	„ „ 5,5 пФ
Проходная „	„ „ 1,5 пФ
Выходная „	„ „ 3,5 пФ

Если в качестве управляющей схемы используется ИСК590ИР1, представляющая 10-разрядный статический сдвигающий регистр на МОП-транзисторах, то 10-канальный коммутатор без учета выходного операционного усилителя (ОУ) может быть построен на трех ИС (рис. 9.13).

Одним из эффективных способов увеличения числа каналов при выбранных ключевых элементах и заданной статической погрешности

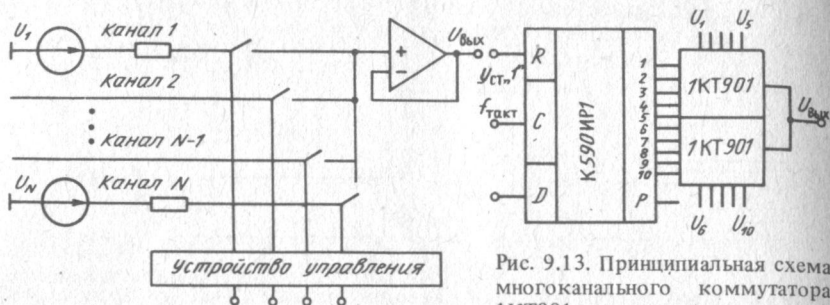


Рис. 9.13. Принципиальная схема многоканального коммутатора 1KT901 со схемой управления K590ИР1

Рис. 9.12. Структурная схема многоканального коммутатора напряжения

является использование коммутаторов пирамидальной структуры (рис. 9.14).

Известно, что ключи могут работать как в режиме переключения напряжений, так и в режиме переключения токов. В рассмотренных коммутаторах ключи работают в режиме переключения напряжений.

Рассмотрим 4-канальный коммутатор напряжения, построенный на основе диодных ключей, работающих в режиме переключения токов (рис. 9.15). В нем используется гибридная ИС2КД521, состоящая из четырех диодных ключей, а для преобразования тока в напряжение применяется ОУ, работающий в инверсном включении. Такой режим работы ключей позволяет снизить управляющие их работой напряжения, в результате чего упрощается формирование этих напряжений и

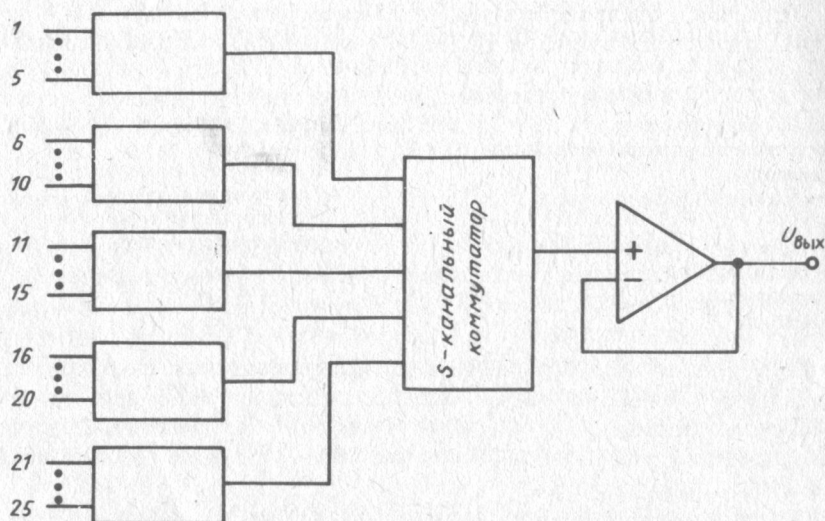


Рис. 9.14. Структурная схема 25-канального двухступенчатого коммутатора

2 КД 521

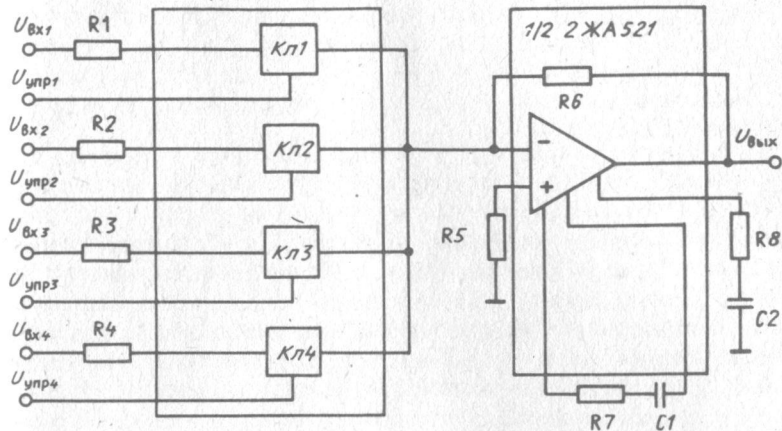


Рис. 9.15. Схема 4-канального коммутатора напряжения (диодные ключи работают в режиме переключения токов)

увеличивается быстродействие. Поскольку используемые ключи переключаются за 80 нс, то быстродействие такого коммутатора определяется временем установления ОУ, которое имеет порядок 0,5 мкс.

Отдельную группу составляют коммутаторы сигналов низкого уровня, например, имеющих верхнюю границу динамического диапазона на 10–100 мВ. Для таких коммутаторов наиболее пригодны интегральные прерыватели и ключи на КМОП-транзисторах. В настоящее время при построении самих коммутаторов применяют и новые схемные решения (рис. 9.16). В этой схеме для передачи одного сигнала ис-

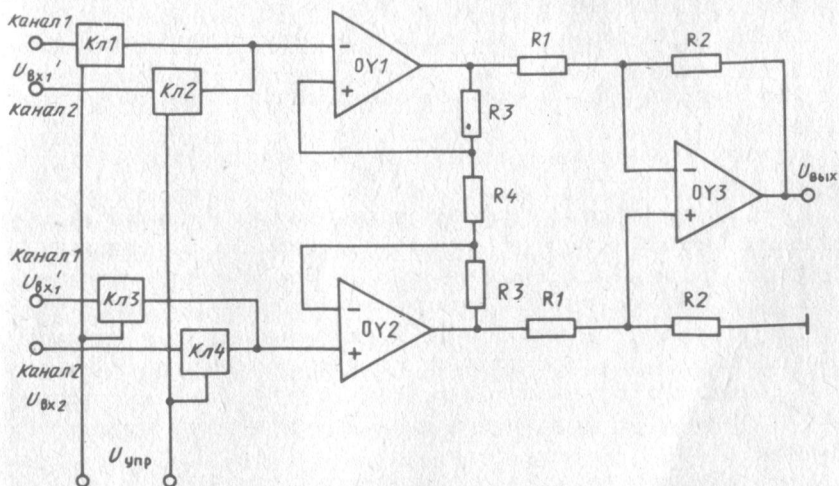


Рис. 9.16. Схема дифференциального коммутатора сигналов низкого уровня

пользуется пара аналоговых ключей, через которые к буферным операционным усилителям $OY1$ и $OY2$, работающим в режиме повторителей напряжения, подаются входные напряжения $U'_{ВХ1}$ и $U''_{ВХ2}$. Эти напряжения с выходов повторителей поступают на вход $OY3$, работающего как вычитающий усилитель. В результате его выходное напряжение для идеального OY равно

$$U_{ВЫХ} = \frac{R2}{R1} \left(2 \frac{R3}{R4} + 1 \right) (U'_{ВХ1} - U''_{ВХ1}). \quad (9.15)$$

Такой коммутатор при идеальных по точности и быстродействию OY подавляет все общие для обоих каналов составляющие напряжения синфазного сигнала и обеспечивает образование на выходе разностного сигнала. К числу составляющих синфазного сигнала относятся разности потенциалов в отдельных точках коммутатора, смещения нулевого уровня сигнала в различных каналах, наводки от источников питания и других мешающих источников (таких, как выбросы напряжений в ключах, которые возникают в процессе коммутации).

9.4. АППАРАТУРА КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ

В настоящее время для контроля и диагностики бытовой РЭА используются следующие группы контрольно-измерительной аппаратуры:

контрольно-измерительная аппаратура общего применения;

специальные контрольно-измерительные приборы, установки, разработанные фирмами Венгрии;

специальные контрольно-измерительные приборы, установки и приспособления, разработанные отечественной промышленностью.

В свою очередь специальную аппаратуру контроля и диагностики бытовой РЭА можно разделить на три большие группы:

аппаратура контроля и диагностики бытовой телевизионной аппаратуры;

аппаратура контроля и диагностики бытовой приемно-усилительной аппаратуры;

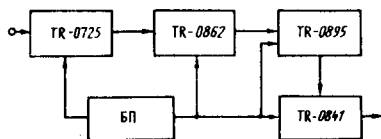
аппаратура контроля и диагностики бытовой аппаратуры записи-воспроизведения.

Кроме того, аппаратуру контроля и диагностики бытовой РЭА подразделяют на аппаратуру для ремонта бытовой РЭА в стационарных условиях (мастерских, цехах, центрах) и для ремонта у заказчика.

Процесс диагностирования контрольно-измерительной аппаратурой общего применения и специальной аппаратурой контроля и диагностики в настоящее время, как правило, осуществляется вручную. Это требует больших затрат времени и высокой квалификации обслуживающего персонала. Все это влияет на качество технического обслуживания бытовой РЭА.

Для проведения контроля и диагностики бытовой РЭА в качестве контрольно-измерительной аппаратуры общего применения используют

Рис. 9.17. Структурная схема комплексного генератора TR-0660/K116



ранее названные приборы (разд. 9.1). В настоящее время наиболее широкое применение получили цифровые измерительные приборы. В них широко реализуются достижения современной радиоэлектроники. Одним из важнейших достоинств цифровых измерительных приборов является наличие у них выхода в двоичном коде, позволяющего непосредственно сопрягать с ЦВМ.

Рассмотрим назначение, принципы построения и структурные схемы специальной контрольно-измерительной аппаратуры, используемой как для комплексной проверки конкретной бытовой РЭА, так и для проверки отдельных ее блоков и узлов.

Телевизионный комплексный генератор TR-0660/K116 предназначен для контроля и диагностики телевизионных приемников цветного изображения. Он обеспечивает возможность выполнения одним комплексным прибором большинства измерений, необходимых в технике цветного телевидения. Генератор TR-0660/K116 (рис. 9.17) состоит из следующих узлов:

- цифрового синхрогенератора ПАЛ-СЕКАМ TR-0725;
- генератора цветных испытательных таблиц TR-0862;
- кодирующего устройства системы СЕКАМ TR-0895;
- программируемого блока телевизионных каналов TR-0841.

Питание всех блоков комплексного генератора осуществляется от общего блока питания (БП), расположенного в приборной коробке.

1. Цифровой синхрогенератор ПАЛ-СЕКАМ TR-0725 вырабатывает синхронизирующие, гасящие и управляющие импульсы, соответствующие телевизионному стандарту 625 строк, а также стробирующие сигналы опознавания цвета для телевизионных систем СЕКАМ и ПАЛ. Кварцевая стабилизация частоты и система АПЧ обеспечивают большую точность и стабильность работы синхрогенератора.

Генератор применяется в научных лабораториях и телевизионных студиях для управления телевизионными системами, камерами, мониторами и другими телевизионными приборами.

Конструкция генератора модульная, все его узлы смонтированы в стандартном выдвижном каркасе, который может быть размещен в индивидуальном (для самостоятельного применения) или комплексном (для использования в сочетании с другими приборами) приборном кожухе.

Выходные импульсные сигналы синхрогенератора имеют отрицательную полярность с уровнем логического 0, равным ± 300 мВ, и уровнем логической 1 от $-3,5$ до $-4,5$ В; время нарастания и спада импульсов не более 300 нс; сопротивление нагрузки 75 Ом.

Синхροгенератор обеспечивает выдачу:

симметричных прямоугольных импульсов с частотой следования 1,3125 МГц;

стандартного полного синхронизирующего сигнала, состоящего из строчных синхронизирующих сигналов длительностью 4,5–4,9 мкс и частотой следования 15 625 Гц; передних и задних уравнивающих сигналов (по 5 шт.) длительностью 2,25–2,45 мкс и периодом повторения 32 мкс; кадровых синхронизирующих сигналов длительностью 160 мкс и частотой повторения 50 Гц; врезок в кадровом синхронизирующем сигнале (5 шт.) длительностью 4,5–4,9 мкс и периодом повторения 32 мкс;

симметричного прямоугольного сигнала с частотой повторения 7812,5 Гц;

строчного гасящего сигнала длительностью 11,8–12,2 мкс и частотой повторения 15 625 Гц;

кадрового гасящего сигнала длительностью 1600 мкс и частотой повторения 50 Гц;

стандартного полного гасящего сигнала, состоящего из строчных и кадровых гасящих сигналов;

строчного управляющего сигнала для передающей телевизионной камеры длительностью 6,5–7,1 мкс и частотой повторения 15 625 Гц;

кадрового управляющего сигнала для передающей телевизионной камеры длительностью 480 мкс и частотой повторения 50 Гц;

стробирующего сигнала опознавания цветов СЕКАМ длительностью 576 мкс и частотой повторения 50 Гц;

стробирующих сигналов опознавания цветов ПАЛ длительностью 2,02–2,48 мкс и частотой повторения 15 625 Гц;

кадрового вспомогательного сигнала длительностью 160 мкс и частотой повторения 50 Гц.

2. Генератор RGB цветных испытательных таблиц TR-0862 вырабатывает составляющие цвета, соответствующие цветным испытательным таблицам, т.е. их величины R , G , B , а также соответствующие им сигналы $R-Y$, $G-Y$, $B-Y$ и Y . Сигналы имеют высокую точность и стабильность, что позволяет исследовать каналы цветности телевизоров.

Генератор применяется в научных лабораториях, телевизионных студиях и на предприятиях для диагностики и ремонта цветных телевизоров, мониторов и систем. Генератор TR-0862 работает совместно с генератором TR-0725, от которого получает управляющие и запускающие импульсы.

Выходные импульсные сигналы генератора TR-0862 имеют положительную полярность и на нагрузке 75 Ом должны иметь:

первичные цветовые сигналы R , G , B и сигналы яркости Y размахом от пика до пика 1 или 0,7 В $\pm 2\%$, уровнем гашения (0 ± 50) мВ, длительностью переднего и заднего фронтов менее 100 нс;

цветоразностные сигналы размахом от пика до пика: $R-Y-1,4 В \pm 6\%$; $G-Y-0,62 В \pm 6\%$; $B-Y-1,78 В \pm 6\%$; длительностью переднего и заднего фронтов не более 300 нс.

Генератор обеспечивает в автоматическом режиме или при ручном управлении формирование следующих испытательных таблиц:

вертикальные цветные полосы с убывающей яркостной последовательностью (белая, желтая, голубая, зеленая, пурпурная, красная, синяя, черная, белая);

вертикальные цветные полосы с последовательностью наибольших яркостных скачков (белая, пурпурная, красная, голубая, синяя, зеленая, черная, белая);

вертикальные цветные полосы с последовательностью наибольших скачков частоты (белая, синяя, желтая, голубая, красная, зеленая, пурпурная, черная, белая);

семь горизонтальных цветных полос с убывающей яркостной последовательностью;

в строчном направлении девять, а в кадровом семь делений с яркостным сигналом градации и пилообразным сигналом;

белое поле;

сетчатое поле из 18 вертикальных линий и 14 горизонтальных белых линий;

точно-сетчатое поле из девяти вертикальных и семи горизонтальных линий;

сигнал градаций и пилообразный сигнал.

3. Кодировщик системы СЕКАМ TR-0895 вырабатывает из трех первичных цветовых сигналов R , G , B полный видеосигнал, соответствующий системе СЕКАМ. Кодировщик работает совместно с цифровым синхрогенератором TR-0725 и генератором цветных испытательных таблиц TR-0862.

Выходной сигнал кодировщика — кодированный по системе СЕКАМ полный цветовой телевизионный видеосигнал с положительной полярностью белого, снабженный синхронизирующими и гасящими сигналами и сигналами цветового опознавания. Размах выходного сигнала не менее 1,1 В при нагрузке 75 Ом, измеренный в максимальном положении потенциометра для регулировки уровня между пиком яркостного сигнала и пиком синхронизирующего импульса.

4. Программируемый блок телевизионных каналов TR-0841 предназначен для получения высокочастотных сигналов и модуляции их сигналами генераторов испытательных таблиц, создающих полный телевизионный видеосигнал. Выходной сигнал блока содержит несущую частоту изображения, модулированную видеосигналом, и несущую частоту звука, модулированную по частоте внешним сигналом или внутренним сигналом 1 кГц.

Высокая точность выходных сигналов обеспечивается современными

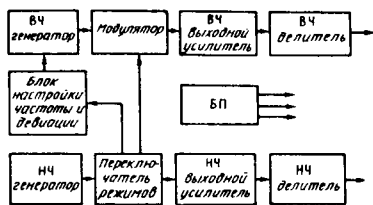


Рис. 9.18. Структурная схема универсального радиомультитестера TR-0625/K088

ми цепями автоматической подстройки частоты и фазы, которые управляются программируемым запоминающим устройством. На выход блока выдается сигнал разностной частоты, предназначенный для проверки канала звука телевизионного приемника.

Блок обеспечивает формирование и выдачу 100 частот в диапазонах: промежуточных частот (38 и 38,9 МГц);

в первом и втором диапазонах метровых волн (полоса частот 45,75–95 МГц);

в третьем диапазоне метровых волн (полоса частот 170–230 МГц); дециметровых волн (полоса частот 470–860 МГц).

Из 100 формируемых сигналов 14 являются измерительными, распределенными равномерно в рабочем диапазоне частот.

Цифровое управление блоком позволяет использовать его как в автономном режиме, так и в системе вычислительных машин.

Универсальный радиомультитестер TR-0625/K088 предназначен для диагностики и контроля РЭА на дому у владельцев. Он включает в себя узлы, необходимые для быстрого отыскания и устранения неисправностей в радиовещательных приемниках (рис. 9.18).

Для проверяемых радиоприемников амплитудно- или частотно-модулированные высокочастотные сигналы вырабатываются в диапазоне частот 250 кГц–69 МГц. Амплитудная и частотная модуляция осуществляется от внутреннего низкочастотного генератора с частотой 1 кГц. Выходное напряжение высокочастотных сигналов составляет от 10 мкВ до 100 мВ с декадной и плавной регулировкой внутри декад. Выходное низкочастотное напряжение с частотой 1 кГц составляет от 10 мВ до 1 В с плавной и декадной регулировками.

Низкочастотный комплексный прибор TR-0157 предназначен для контроля, диагностики, наладки и ремонта низкочастотной аппаратуры.

Применение приборов различного типа требует большого внимания, а правильное соединение этих приборов занимает большую часть времени измерения. При этом согласование различных параметров и характеристик приборов затрудняет оценку измерения и увеличивает погрешность. Для исключения этого и был разработан хорошо согласованный комплексный прибор, включающий в себя все приборы, которые необходимы для контроля, диагностики и настройки низкочастотных устройств.

К низкочастотным устройствам, как правило, относятся усилители,

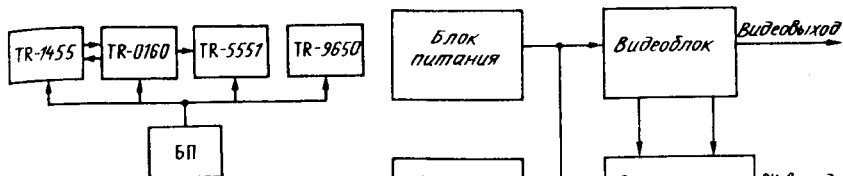


Рис. 9.19. Структурная схема низкочастотного комплексного прибора TR-0157

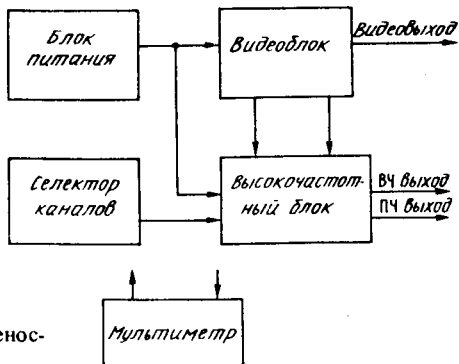


Рис. 9.20. Структурная схема переносного прибора TR-0827/A

звукозаписывающие и звуковоспроизводящие устройства. Для проверки этих устройств требуются простой и точный вольтметр, звуковой генератор, частотомер и измеритель искажений. Эти приборы позволяют получить хорошо оцениваемую картину качественных характеристик воспроизводимого звука. В соответствии с этим комплексный прибор включает следующие блоки: электронный вольтметр TR-1455, звуковой генератор TR-0160, частотомер TR-5551, измеритель искажений TR-9650 и стабилизированный блок питания (рис. 9.19).

Электронный вольтметр пригоден для проведения измерений в ламповых и транзисторных устройствах. Это достигается правильным подбором пределов измерения (от 1 мВ до 300 В).

Звуковой генератор обеспечивает выдачу полного диапазона звуковых частот, в том числе и неслышимые частоты, превышающие 20 кГц, что позволяет применять этот прибор и для диагностики промышленных и медицинских аппаратов.

Частотомер низкочастотного комплексного прибора включает в себя измеритель колебания частоты и детонации, с помощью которого можно быстро получить количественную оценку одного из самых важных качественных параметров звуковоспроизводящих устройств.

Измеритель искажений имеет два режима работы: на фиксированных и изменяющихся частотах. В режиме фиксированной частоты измеряются нелинейные искажения звуковых генераторов или усилителей на заданных характерных частотах. В режиме изменяющейся частоты измеряются характерные искажения звуковоспроизводящих устройств в окрестностях заданной частоты.

Таким образом, с помощью низкочастотного комплексного прибора TR-0157 могут быть выполнены практически все измерения в низкочастотных устройствах. Для полного комплекса измерений может оказаться необходимым осциллограф, работающий в низкочастотном диапазоне, с помощью которого можно непосредственно наблюдать форму сигнала. В качестве осциллографа рекомендуется использовать венгерский модулескоп.

Переносной прибор TR-0827/A предназначен для контроля, диагностики и ремонта черно-белых и цветных телевизоров на дому у владельцев.

Переносной малогабаритный телевизионный прибор (рис. 9.20) позволяет подавать испытательные сигналы на антенный вход, на вход промежуточной частоты или видеовход. Возможна подача сигнала и на звуковые входы.

Прибор позволяет измерять постоянные и переменные токи и напряжения, коэффициенты усиления транзисторов, параметры сопротивлений и проводимостей, а также проверять диоды.

В состав малогабаритного переносного телевизионного прибора TR-0827 входят: видеоблок, высокочастотный блок, селектор каналов, мультиметр и блок питания.

Видеоблок прибора обеспечивает формирование полного телевизионного видеосигнала, соответствующего различным испытательным таблицам, кодированного по системе СЕКАМ или ПАЛ и включающего синхронизирующие и гасящие импульсы. Кроме того, в видеоблоке формируются разностные звуковые частоты, модулированные от внутреннего генератора с частотой 1 кГц.

Высокочастотный блок обеспечивает формирование телевизионных высокочастотных сигналов в диапазонах:

промежуточной частоты, первом и втором диапазонах метровых волн (38–94 МГц);

третьем диапазоне метровых волн (170–230 МГц);

дециметровых волн (480–860 МГц).

Выбор частоты телевизионного канала (одной из 100 заранее установленных кодовым устройством) осуществляется селектором каналов.

Прибор обеспечивает формирование следующих изображений:

шахматное поле;

сетчатое поле (19 вертикальных и 15 горизонтальных линий);

сетчатое поле с точками;

белое поле;

черное поле;

девять цветных вертикальных полос по убывающей яркости (белая – желтая – голубая – зеленая – пурпурная – красная – синяя – черная – белая).

девять цветных вертикальных полос по наибольшему скачку частоты для системы СЕКАМ и по наибольшему скачку фазы для системы ПАЛ;

семь горизонтальных полос (белая – желтая – голубая – зеленая – пурпурная – красная – синяя).

Блок питания вырабатывает на выходе постоянные стабилизированные напряжения 5 и 12 (два выхода) В. Питание блока осуществляется от сети 220 или 110 В.

9.5. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ БЫТОВОЙ РЭА

Объективной тенденцией развития техники на настоящем этапе является постоянный рост сложности технических устройств, что объясняется расширением круга решаемых ими задач при повышении требований к эффективности функционирования. Эта общая тенденция в полной мере характерна и для современной бытовой РЭА.

Усложнение схемного построения и функциональных связей в современной бытовой РЭА вместе с резким увеличением количества элементов в единице оборудования порождает определенные трудности при обеспечении требуемой надежности. В результате возникает ряд проблем, связанных с обслуживанием этой аппаратуры. Сущность их заключается в том, что развитие бытовой РЭА в указанном направлении сопровождается резким увеличением материальных затрат, временных и трудовых затрат на техническое обслуживание.

В настоящее время основным направлением разрешения указанных проблем является резкое повышение надежности бытовой РЭА. Однако совершенствование организации обслуживания в сочетании с механизацией и автоматизацией всех процессов технического обслуживания БРЭА остается актуальной задачей.

Систему технического обслуживания бытовой РЭА можно рассматривать как замкнутую динамическую систему управления качеством этой аппаратуры, в которой контроль и диагностика обеспечивают восприятие информации и принятие решений, определяющих управляющие воздействия на нее. Таким образом, данные контроля и диагностики являются информационной основой, на базе которой строится техническое обслуживание, что и определяет высокие требования к качеству этих операций и то внимание, которое уделяется проблемам контроля и диагностики в последнее время. Однако затраты времени на контроль и диагностику при техническом обслуживании БРЭА составляют около 80% всех временных затрат на обслуживание, что приводит к настоятельной необходимости автоматизации процессов контроля и диагностики.

В задаче автоматизации контроля и диагностики можно выделить ряд аспектов, имеющих самостоятельное значение. К их числу следует отнести изучение бытовой РЭА как объекта диагностирования, исследование свойств различных методов диагностирования, вопросы конструктивно-схемного характера, связанные с разработкой автоматизированных систем контроля и диагностики, и, наконец, вопросы эксплуатации средств контроля и диагностики.

Большие алгоритмические возможности, способность запоминать, а также логически и статистически обрабатывать информацию позволяют использовать электронно-вычислительную технику для автоматизации всех основных функций контроля и диагностики. Хотя возможности ЭВМ были известны сравнительно давно, однако широкому при-

менению их в автоматизированных системах контроля и диагностики препятствовали следующие трудности:

отсутствие необходимой номенклатуры электронных датчиков, позволяющих получать достоверную информацию в процессе контроля и диагностики БРЭА;

уровень сложности и надежности вычислительной техники не обеспечивал эффективной работы ее в составе автоматизированных систем контроля и диагностики БРЭА;

недостаточность проработки методов алгоритмизации и программирования процессов контроля и диагностики, связанная с большими затратами времени и средств на разработку и отладку конкретных программ контроля и диагностики;

недостаток квалифицированных специалистов, хорошо знающих программирование и технику эксплуатации ЭВМ, а также схемотехнику и принципы работы бытовой РЭА.

Значительные успехи в развитии вычислительных средств и внедрение дискретных методов в практику разработки контрольно-измерительной аппаратуры позволяют в значительной мере устранить многие из перечисленных трудностей. Появление микропроцессорной техники, микроЭВМ открыло качественно новый этап в разработке автоматизированных систем контроля и диагностики бытовой РЭА. Микропроцессоры объединяют в себе, по современным представлениям, неограниченные возможности микроэлектроники и вычислительной техники. Это позволяет создавать технические устройства, наделенные "интеллектуальными" свойствами и логическими функциями: при приемлемых для широкого применения показателях быстродействия, энергопотребления, надежности, массы и стоимости.

Микропроцессоры коренным образом изменяют и облик контрольно-измерительной аппаратуры как в схемно-конструктивном отношении, так и в приобретении измерительными приборами новых качеств (автоматическая настройка, самоконтроль, обработка данных, исключение многих видов ошибок при измерениях). Так, например, прибор для измерения напряжения с цифровым отсчетом с использованием микропроцессора значительно проще аналогичного прибора без микропроцессора (он не требует большого количества (сотни ИС) логических узлов). Микропроцессор обеспечивает управление всем прибором и сопряжение его с внешними системами, что особенно важно при создании автоматизированных систем контроля и диагностики.

Применение микропроцессоров в таких сложных приборах, как синтезаторы частот, позволяет исключить электромеханические узлы и сложные счетно-логические схемы, повышает эксплуатационные качества измерительных систем. Использование микропроцессоров в осциллографах позволяет, например, повысить точность и удобство измерения параметров импульсных сигналов и временных интервалов. При этом погрешность измерений с 3–5% снижается до 0,5–1%. Вне-

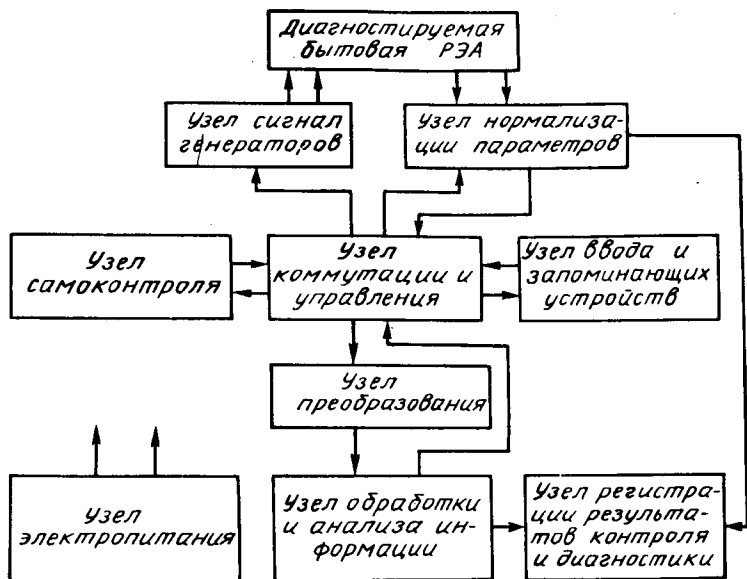


Рис. 9.21. Структурная схема автоматизированной системы контроля и диагностики бытовой РЭА

дрение микропроцессоров в контрольно-измерительную аппаратуру открывает широкие возможности эффективного сопряжения ее с ЭВМ.

Появление микропроцессоров и ИС открыло дорогу созданию нового вида автоматических измерительных устройств (АИУ). К ним относятся анализаторы логических состояний, что особенно важно при наблюдении взаимосвязанных потоков информации и поиска неисправностей в цифровых системах обработки информации. Замена анализатором логических состояний обычных приборов позволяет сократить контрольно-измерительную аппаратуру в три раза, а продолжительность операций контроля уменьшить в сотни раз.

На основе микропроцессоров создаются новые автоматические системы контроля и диагностики с высокими технико-экономическими показателями. Открываются возможности для создания встроенных автоматических систем контроля в бытовой РЭА различного назначения. Новые средства автоматического контроля и диагностики будут способствовать повышению качества технического обслуживания БРЭА, уменьшению сроков ее ремонта и существенному повышению производительности труда.

Автоматизированная система контроля и диагностики включает в себя девять функциональных узлов (рис. 9.21).

Узел сигнал генераторов предназначен для выработки и подачи в ходе контроля и диагностики бытовой РЭА различных стимулирующих

сигналов. Он состоит из набора различных генераторов, обеспечивающих формирование испытательных сигналов.

Узел нормализации параметров приводит контролируемые параметры к стандартному диапазону их значений, а также обеспечивает совместно с датчиками, встраиваемыми в бытовую РЭА, преобразование неэлектрических параметров в электрические в заданном диапазоне их значений.

Узел коммутации и управления предназначен для управления работой функциональных узлов системы во всех режимах ее работы и коммутации (отключение, включение, переключение) отдельных цепей системы, выходов и входов бытовой РЭА в соответствии с программой работы и командами управления.

Узел ввода и запоминающих устройств предназначен для ввода в долговременное запоминающее устройство программ и исходных данных для всех режимов работы системы контроля и диагностики, а также длительного или оперативного хранения различной информации, используемой в процессе диагностирования.

Узел преобразования осуществляет преобразование в двоичный код различных электрических значений параметров после их нормализации. Он состоит из набора преобразователей: "напряжение — код", "ток — код", "время — код" и др.

Узел самоконтроля обеспечивает самоконтроль состояния функциональных узлов системы контроля и диагностики. В этот узел обычно входят блок стандартных программ и сравнивающее устройство.

Узел регистрации результатов контроля и диагностики обеспечивает документирование результатов диагностирования, а также представление в удобных для восприятия форме и виде.

Узел обработки и анализа информации предназначен для получения оценок технического состояния диагностируемой бытовой РЭА и контролируемых параметров при их контроле. Основу узла, как правило, составляет микроЭВМ.

В качестве примера рассмотрим автоматизированное устройство диагностики лентопротяжных механизмов магнитофонов, разработанное ЦНИИбытом (рис. 9.22). Оно является первым автоматизированным устройством диагностики, разработанным на базе персонального компьютера и предназначенным для обеспечения предприятий ремонта бытовой радиоэлектронной аппаратуры.

Блок согласования обеспечивает преобразование интервалов времени, соответствующих периоду испытуемого сигнала, в цифровой восьмиразрядный код. Кроме того, в блоке вырабатываются специальные сигналы разрешения считывания кода, следующие с частотой 256 Гц. Цифровая информация с блока согласования поступает на компьютер.

В качестве вычислительной машины используется бытовой компьютер типа "Электроника БК-0010". Перед началом работы в компьютер вводится специальная программа автоматизированной диагностики.

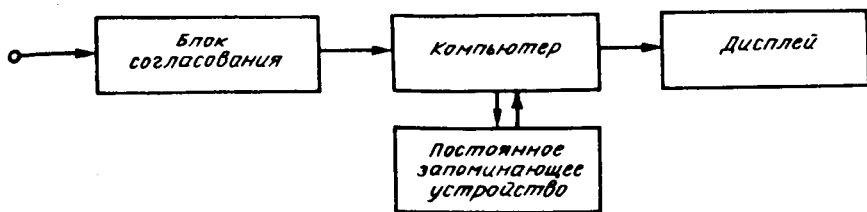


Рис. 9.22. Структурная схема автоматизированного устройства диагностики лентопротяжных механизмов магнитофонов

Работа устройства осуществляется в режиме диалога между радиомехаником и ЭВМ. Результаты диагностики выводятся на экран дисплея. В качестве дисплея используется бытовой телевизионный приемник черно-белого или цветного изображения.

Постоянное запоминающее устройство используется для хранения программ. Им может быть магнитофон любого типа. Если программа введена в постоянное запоминающее устройство компьютера, то магнитофон не применяется.

Устройство обеспечивает:

измерение отклонения средней скорости движения магнитной ленты от номинальной в пределах $-3,5 \dots +3,5\%$ с точностью $0,04\%$;

измерение коэффициента детонации магнитофона в пределах $0,05 \dots 1\%$ с точностью $0,01\%$;

вывод на экран дисплея графического изображения спектра детонации;

оперативный контроль регулировки средней скорости движения ленты;

контроль правильности подачи управляющих команд радиомехаником;

контроль правильности межблочных и внешних соединений и в случае несоответствия – выдачу сообщений радиомеханику.

Количество источников детонации, анализируемых при проведении автоматизированной диагностики, – шесть. Емкость банка данных по типам магнитофонов – 48. В банк данных по типам магнитофонов могут вноситься корректировки.

Время проведения одного цикла диагностики не превышает 10 с.

Приложения

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 1

Квантили распределения χ^2

r	Вероятность P(ϵ)							
	0,999	0,995	0,990	0,975	0,95	0,9	0,8	0,7
3	0,024	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	1,00	1,42
4	0,091	0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,65	2,19
5	0,210	0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,34	3,00
6	0,381	0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,07	3,83
7	0,598	0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	3,82	4,67
8	0,857	1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	4,59	5,53
9	1,15	1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,38	6,39
10	1,48	2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,18	7,27
11	1,83	2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	6,99	8,15
12	2,21	3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	7,81	9,03
13	2,62	3,57	4,11	5,01	5,99	7,04	8,63	9,93
14	3,04	4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	9,47	10,8
15	3,48	4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	10,3	11,7
16	3,94	5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,2	12,6
18	4,90	6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	12,0	14,4
20	5,92	7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	14,6	16,3
22	6,98	8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	16,3	18,1
24	8,08	9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	18,1	19,9
26	9,22	11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	19,8	21,8
28	10,4	12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	21,9	23,6
30	11,6	13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5
35	14,7	17,2	18,5	20,6	22,5	24,8	27,8	30,2
40	17,9	20,7	22,2	24,4	26,5	29,1	32,3	34,9
45	21,3	24,3	25,9	28,4	30,6	33,4	36,9	39,6
50	24,7	28,0	29,7	32,4	34,8	37,7	41,4	44,3
60	31,7	35,5	37,5	40,5	43,2	46,5	50,6	53,8
70	39,0	43,3	45,4	48,8	51,7	55,3	59,9	63,3
80	46,5	51,2	53,5	57,2	60,4	64,3	69,2	72,9
90	52,4	59,2	61,8	65,6	69,1	73,3	78,6	82,5
100	61,9	67,3	70,1	74,2	77,9	82,4	87,9	92,1

r	Вероятность $P(\epsilon)$							
	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001
1	1,07	1,64	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,8
2	2,41	3,22	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8
3	3,67	4,64	6,25	7,81	9,35	11,3	12,8	16,3
4	4,88	5,99	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9	18,5
5	6,06	7,29	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7	20,5
6	7,23	8,56	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5
7	8,38	9,80	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3
8	9,52	11,0	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1
9	10,7	12,2	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9
10	11,8	13,4	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6
11	12,9	14,6	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,6
12	14,0	15,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9
13	15,1	17,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8	34,5
14	16,2	18,2	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1
15	17,3	19,3	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7
16	18,4	20,5	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3
18	20,6	22,8	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3
20	22,8	25,0	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3
22	24,9	27,3	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3
24	27,1	29,6	33,2	36,4	39,4	43,0	46,6	51,2
26	29,2	31,8	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3	54,1
28	31,4	34,0	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9
30	33,5	36,3	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7
35	38,9	41,8	46,1	49,9	53,2	57,3	60,3	66,6
40	44,2	47,3	51,8	55,8	59,3	63,7	66,8	73,4
50	54,7	58,2	63,2	67,5	71,4	76,2	79,5	86,7
60	65,2	69,0	74,4	79,1	83,3	88,4	92,0	99,6
70	75,7	79,7	85,5	90,5	95,0	100,4	104,2	112,3
75	80,9	85,1	91,1	96,2	100,8	106,4	110,3	118,6
80	86,1	90,4	96,6	101,9	106,6	112,3	116,3	124,8
90	96,5	101,1	107,7	113,1	118,1	124,1	128,3	137,2
100	106,9	111,7	118,5	124,3	129,6	135,8	140,2	149,4

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициента r_1

n	Вероятность $P(\epsilon)$					
	0,999	0,99	0,975	0,95	0,9	0,8
1	1000	100	40	19,5	9,50	4,48
2	44,0	13,5	8,26	5,63	3,77	2,42
3	15,7	6,88	4,84	3,66	2,73	1,95
4	9,33	4,85	3,67	2,93	2,29	1,74
5	6,76	3,91	3,08	2,54	2,05	1,62
6	5,43	3,36	2,73	2,29	1,90	1,54
8	4,06	2,75	2,31	2,01	1,72	1,43

n	Вероятность $P(\epsilon)$					
	0,999	0,99	0,975	0,95	0,9	0,8
10	3,38	2,42	2,08	1,83	1,61	1,37
15	2,59	2,01	1,78	1,62	1,46	1,28
20	2,23	1,81	1,64	1,51	1,37	1,24
25	2,02	1,68	1,55	1,44	1,33	1,21
30	1,89	1,60	1,48	1,39	1,29	1,18
40	1,72	1,50	1,40	1,32	1,24	1,16
50	1,61	1,43	1,35	1,28	1,21	1,14
60	1,56	1,38	1,31	1,25	1,19	1,12
80	1,47	1,32	1,26	1,21	1,16	1,10
100	1,40	1,28	1,23	1,19	1,14	1,09
150	1,31	1,22	1,18	1,15	1,12	1,07
200	1,26	1,19	1,16	1,13	1,10	1,06
250	1,23	1,17	1,14	1,11	1,09	1,06
300	1,21	1,15	1,12	1,10	1,08	1,05
400	1,18	1,13	1,11	1,09	1,07	1,04
500	1,16	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04
600	1,14	1,10	1,08	1,07	1,05	1,04
800	1,12	1,09	1,07	1,06	1,05	1,03
1000	1,11	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03

Таблица 3

Значения коэффициента r_2

n	Вероятность $P(\epsilon)$					
	0,999	0,99	0,975	0,95	0,9	0,8
1	0,14	0,22	0,27	0,33	0,43	0,62
2	0,22	0,30	0,36	0,42	0,51	0,67
3	0,27	0,36	0,42	0,48	0,57	0,70
4	0,31	0,40	0,46	0,52	0,60	0,73
5	0,34	0,43	0,49	0,55	0,62	0,75
6	0,36	0,46	0,52	0,57	0,65	0,76
8	0,41	0,50	0,56	0,61	0,69	0,78
10	0,44	0,53	0,58	0,64	0,70	0,80
15	0,50	0,59	0,64	0,68	0,74	0,83
20	0,54	0,63	0,67	0,72	0,77	0,85
25	0,58	0,66	0,70	0,74	0,79	0,86
30	0,60	0,68	0,72	0,76	0,80	0,87
40	0,64	0,71	0,75	0,78	0,83	0,88
50	0,67	0,74	0,77	0,80	0,84	0,89
60	0,70	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90
80	0,73	0,78	0,81	0,84	0,87	0,91
100	0,75	0,80	0,83	0,86	0,88	0,92
150	0,79	0,84	0,86	0,88	0,90	0,93

n	Вероятность P(ε)					
	0,999	0,99	0,975	0,95	0,9	0,8
200	0,81	0,86	0,88	0,89	0,92	0,94
250	0,83	0,87	0,89	0,90	0,92	0,95
300	0,84	0,88	0,90	0,91	0,93	0,95
400	0,86	0,89	0,91	0,92	0,94	0,96
500	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96
600	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,97
800	0,90	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97
1000	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97

Таблица 4

Значения коэффициента r₀

P(ε)	1,0	0,999	0,99	0,975	0,95	0,9	0,8
r ₀	0	6,91	4,6	3,69	3,0	2,3	1,61

Таблица 5

Значения коэффициентов δ₁ и δ₂

n	δ ₁				δ ₂			
	P(ε)				P(ε)			
	0,99	0,95	0,9	0,8	0,99	0,95	0,9	0,8
1	0,075	0,177	0,265	0,412	3,325	2,37	1,95	1,5
2	0,206	0,341	0,436	0,574	2,512	1,94	1,675	1,375
3	0,3	0,434	0,525	0,65	2,15	1,75	1,542	1,317
4	0,362	0,5	0,581	0,7	2	1,64	1,469	1,281
5	0,415	0,545	0,62	0,73	1,88	1,57	1,42	1,25
6	0,454	0,575	0,654	0,755	1,792	1,52	1,383	1,233
7	0,460	0,604	0,675	0,771	1,725	1,47	1,353	1,214
8	0,464	0,62	0,688	0,785	1,66	1,43	1,34	1,205
10	0,473	0,65	0,713	0,813	1,527	1,35	1,287	1,187
15	0,57	0,7	0,766	0,85	1,43	1,3	1,234	1,15
20	0,629	0,74	0,8	0,87	1,371	1,26	1,2	1,13
25	0,668	0,77	0,821	0,885	1,332	1,23	1,179	1,115
30	0,697	0,788	0,835	0,892	1,303	1,22	1,165	1,108
35	0,719	0,8	0,848	0,9	1,281	1,2	1,152	1,1
40	0,738	0,81	0,86	0,91	1,262	1,19	1,14	1,09
45	0,752	0,82	0,867	0,915	1,248	1,18	1,133	1,085
50	0,765	0,83	0,87	0,916	1,235	1,17	1,126	1,084

n	δ_1				δ_2			
	P(ϵ)				P(ϵ)			
	0,99	0,95	0,9	0,8	0,99	0,95	0,9	0,8
100	0,835	0,88	0,91	0,94	1,165	1,12	1,09	1,06
150	0,865	0,8	0,928	0,955	1,135	1,1	1,072	1,045
200	0,883	0,92	0,935	0,958	1,117	1,08	1,065	1,042
250	0,895	0,923	0,944	0,962	1,105	1,07	1,056	1,038
300	0,905	0,935	0,95	0,968	1,095	1,065	1,05	1,032
350	0,912	0,94	0,952	0,968	1,088	1,06	1,048	1,031
400	0,92	0,942	0,955	0,97	1,08	1,058	1,045	1,03
450	0,922	0,944	0,957	0,972	1,078	1,056	1,042	1,028
500	0,928	0,95	0,96	0,974	1,072	1,05	1,04	1,026

Т а б л и ц а 6

Квантили распределения Стьюдента

r = n - 1	Вероятность P(ϵ)									
	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
1	0,325	0,727	1,376	3,078	6,314	12,71	31,82	63,6	318,3	636,6
2	0,289	0,617	1,061	1,886	2,920	4,303	6,965	9,92	22,3	31,60
3	0,277	0,584	1,978	1,638	2,353	3,182	4,541	5,84	10,22	12,94
4	0,271	0,569	1,941	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	7,173	8,610
5	0,267	0,559	1,920	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	5,893	6,859
6	0,265	0,553	1,906	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,208	5,959
7	0,263	0,549	1,896	1,415	1,895	2,365	2,998	3,490	4,785	5,405
8	0,262	0,546	1,889	1,397	1,860	2,306	2,896	3,335	4,501	5,041
9	0,261	0,543	1,883	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,297	4,781
10	0,260	0,542	1,879	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,144	4,507
11	0,260	0,540	1,876	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,025	4,437
12	0,259	0,539	1,873	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	3,930	4,318
13	0,259	0,538	1,870	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	3,852	4,221
14	0,258	0,537	1,868	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,787	4,140
15	0,258	0,536	1,866	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	3,733	4,073
16	0,258	0,535	1,865	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	3,686	4,015
17	0,257	0,534	1,863	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,646	3,965
18	0,257	0,534	1,862	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,611	3,965
19	0,257	0,533	1,861	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,579	3,883
20	0,257	0,533	1,860	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,552	3,850
21	0,257	0,532	1,859	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,527	3,819
22	0,256	0,532	1,858	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,505	3,792
23	0,256	0,532	1,858	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,485	3,767
24	0,256	0,531	1,857	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,467	3,745
25	0,256	0,531	1,856	1,316	1,708	2,060	2,485	2,786	3,450	3,725
26	0,256	0,531	1,856	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,435	3,707
27	0,256	0,531	1,855	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,421	3,690
28	0,256	0,530	1,855	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,408	3,674
29	0,256	0,530	1,854	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,396	3,659

$r = n - 1$	Вероятность $P(\epsilon)$									
	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,995	0,999
30	0,256	0,530	1,854	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,385	3,646
40	0,255	0,529	1,851	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,307	3,551
50	0,255	0,528	1,849	1,298	1,676	2,002	2,403	2,678	3,262	3,495
60	0,254	0,527	1,848	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,232	3,460
80	0,254	0,527	1,846	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639	3,195	3,415
100	0,254	0,526	1,845	1,290	1,660	1,984	2,365	2,626	3,174	3,389
200	0,254	0,525	1,843	1,286	1,653	1,972	2,345	2,601	3,131	3,339
500	0,253	0,525	1,842	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586	3,106	3,310

Таблица 7

Значения коэффициента γ_0

n_0	α									
	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	
	β									
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	
0	0,02	0,022	0,032	0,04	0,05	0,066	0,075	0,1	0,14	
1	0,08	0,09	0,12	0,11	0,14	0,18	0,17	0,21	0,28	
2	0,13	0,16	0,19	0,18	0,21	0,26	0,24	0,29	0,36	
3	0,18	0,20	0,25	0,22	0,26	0,32	0,30	0,34	0,42	
4	0,22	0,25	0,29	0,27	0,30	0,36	0,34	0,39	0,46	
5	0,25	0,29	0,33	0,30	0,34	0,40	0,37	0,42	0,49	
6	0,28	0,31	0,36	0,33	0,37	0,43	0,40	0,45	0,52	
7	0,30	0,34	0,39	0,35	0,40	0,45	0,43	0,48	0,55	
8	0,32	0,36	0,41	0,38	0,42	0,48	0,45	0,50	0,57	
9	0,35	0,38	0,44	0,40	0,44	0,50	0,46	0,51	0,58	
10	0,36	0,40	0,45	0,41	0,45	0,51	0,48	0,53	0,60	
11	0,38	0,42	0,47	0,43	0,47	0,53	0,50	0,55	0,61	
12	0,40	0,43	0,48	0,45	0,49	0,54	0,51	0,56	0,62	
13	0,41	0,45	0,50	0,46	0,50	0,56	0,52	0,57	0,63	
14	0,42	0,46	0,51	0,47	0,51	0,57	0,53	0,58	0,64	
15	0,44	0,47	0,52	0,48	0,52	0,58	0,54	0,59	0,65	
16	0,45	0,48	0,53	0,49	0,53	0,59	0,55	0,60	0,66	
18	0,47	0,50	0,55	0,51	0,55	0,61	0,57	0,62	0,68	
20	0,48	0,52	0,57	0,53	0,57	0,62	0,59	0,63	0,70	
22	0,50	0,54	0,58	0,54	0,58	0,64	0,60	0,64	0,70	
24	0,52	0,55	0,60	0,56	0,60	0,65	0,61	0,66	0,71	
26	0,53	0,56	0,61	0,57	0,61	0,66	0,62	0,67	0,72	
28	0,54	0,58	0,62	0,58	0,62	0,67	0,64	0,68	0,73	
30	0,55	0,59	0,63	0,59	0,63	0,68	0,65	0,69	0,74	
40	0,60	0,63	0,67	0,64	0,67	0,72	0,68	0,72	0,77	
50	0,63	0,66	0,70	0,67	0,70	0,74	0,71	0,75	0,79	
60	0,65	0,68	0,72	0,69	0,72	0,76	0,73	0,76	0,81	

n_0	α								
	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
	β								
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
80	0,69	0,72	0,75	0,72	0,75	0,79	0,76	0,79	0,83
100	0,72	0,74	0,78	0,75	0,77	0,81	0,78	0,81	0,85
120	0,74	0,76	0,79	0,77	0,79	0,82	0,80	0,83	0,86
160	0,77	0,79	0,82	0,79	0,82	0,84	0,82	0,85	0,88
200	0,79	0,81	0,84	0,81	0,84	0,86	0,84	0,86	0,89

Таблица 8

Значения a_1 и γ_1

n_0	Значения a_1			Значения γ_1		
	α			α		
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
1	0,36	0,50	0,82	0,36	0,50	0,82
2	0,82	1,1	1,5	0,41	0,55	0,77
3	1,4	1,7	2,3	0,45	0,58	0,77
4	2,0	2,4	3,1	0,49	0,61	0,77
5	2,6	3,2	3,9	0,52	0,63	0,78
6	3,3	3,9	4,7	0,55	0,65	0,79
7	4,0	4,7	5,6	0,57	0,67	0,80
8	4,7	5,4	6,5	0,59	0,68	0,81
9	5,4	6,2	7,3	0,60	0,69	0,81
10	6,2	7,0	8,2	0,62	0,70	0,82
11	6,9	7,8	9,0	0,63	0,71	0,82
12	7,7	8,6	9,9	0,64	0,72	0,83
13	8,4	9,5	11	0,65	0,73	0,83
14	9,2	10	12	0,66	0,74	0,84
15	10	11	12	0,67	0,75	0,84
16	11	12	13	0,68	0,75	0,84
18	12	14	15	0,69	0,76	0,85
20	14	15	17	0,70	0,77	0,86
22	16	17	19	0,71	0,78	0,86
24	17	19	21	0,72	0,78	0,86
26	19	21	23	0,73	0,79	0,87
28	21	22	24	0,74	0,80	0,87
30	22	24	26	0,75	0,80	0,87
40	31	33	36	0,78	0,82	0,89
50	40	42	45	0,79	0,84	0,90
60	49	51	54	0,81	0,85	0,91
70	58	60	64	0,82	0,86	0,91
80	67	70	73	0,83	0,87	0,92

n_0	Значения a_1			Значения γ_1		
	α			α		
	0,05	0,1	0,2	0,05	0,1	0,2
90	76	79	83	0,84	0,88	0,92
100	85	88	92	0,85	0,88	0,92
120	103	107	112	0,86	0,89	0,93
140	122	126	131	0,87	0,90	0,93
160	141	145	150	0,88	0,91	0,94
180	159	164	170	0,88	0,91	0,94
200	178	183	189	0,89	0,92	0,94

Таблица 9

Значения гамма-функции $\Gamma(x)$

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1,00	1,00000	1,25	0,90610	1,50	0,88623	1,75	0,91906
1,01	0,99433	1,26	0,90440	1,51	0,88659	1,76	0,92137
1,02	0,98884	1,27	0,90250	1,52	0,88704	1,77	0,92376
1,03	0,98355	1,28	0,90072	1,53	0,88757	1,78	0,92623
1,04	0,97844	1,29	0,89904	1,54	0,88818	1,79	0,92877
1,05	0,97350	1,30	0,89747	1,55	0,88887	1,80	0,93138
1,06	0,96874	1,31	0,89600	1,56	0,88964	1,81	0,93408
1,07	0,96415	1,32	0,89464	1,57	0,89049	1,82	0,93685
1,08	0,95973	1,33	0,89338	1,58	0,89142	1,83	0,93369
1,09	0,95546	1,34	0,89222	1,59	0,89243	1,84	0,94261
1,10	0,95135	1,35	0,89115	1,60	0,89352	1,85	0,94561
1,11	0,94740	1,36	0,89018	1,61	0,89468	1,86	0,94869
1,12	0,94359	1,37	0,88931	1,62	0,89592	1,87	0,95184
1,13	0,93993	1,38	0,88854	1,63	0,89724	1,88	0,95507
1,14	0,93642	1,39	0,88785	1,64	0,89864	1,89	0,95838
1,15	0,93304	1,40	0,88726	1,65	0,90012	1,90	0,96177
1,16	0,92980	1,41	0,88676	1,66	0,90167	1,91	0,96523
1,17	0,92670	1,42	0,88636	1,67	0,90330	1,92	0,96877
1,18	0,92373	1,43	0,88604	1,68	0,90500	1,93	0,97240
1,19	0,92089	1,44	0,88581	1,69	0,90678	1,94	0,97610
1,20	0,91817	1,45	0,88566	1,70	0,90864	1,95	0,97988
1,21	0,91558	1,46	0,88560	1,71	0,91057	1,96	0,98374
1,22	0,91311	1,47	0,88563	1,72	0,91258	1,97	0,98768
1,23	0,91075	1,48	0,88575	1,73	0,91467	1,98	0,99171
1,24	0,90852	1,49	0,88595	1,74	0,91683	1,99	0,99581
						2,00	1,00000

Функция Лапласа $\Phi(z)$

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
0,00	0,500	1,05	0,853	2,10	0,982	3,15	0,999
0,05	0,519	1,10	0,864	2,15	0,984	3,20	0,9993
0,10	0,539	1,15	0,874	2,20	0,986	3,25	0,9994
0,15	0,559	1,20	0,885	2,25	0,987	3,30	0,9995
0,20	0,579	1,25	0,894	2,30	0,989	3,35	0,9996
0,25	0,598	1,30	0,903	2,35	0,990	3,40	0,9997
0,30	0,618	1,35	0,911	2,40	0,991	3,45	0,9998
0,35	0,639	1,40	0,919	2,45	0,992	3,50	1,0
0,40	0,655	1,45	0,926	2,50	0,993	3,55	1,0
0,45	0,673	1,50	0,933	2,55	0,994	3,60	1,0
0,50	0,691	1,55	0,939	2,60	0,995	3,65	1,0
0,55	0,709	1,60	0,945	2,65	0,996	3,70	1,0
0,60	0,725	1,65	0,950	2,70	0,997	3,75	1,0
0,65	0,742	1,70	0,955	2,75	0,997	3,80	1,0
0,70	0,758	1,75	0,959	2,80	0,9974	3,85	1,0
0,75	0,773	1,80	0,964	2,85	0,9978	3,90	1,0
0,80	0,788	1,85	0,968	2,90	0,9981	3,95	1,0
0,85	0,802	1,90	0,971	2,95	0,9984	4,00	1,00
0,90	0,816	1,95	0,974	3,00	0,999	4,5	1,0
0,95	0,829	2,00	0,977	3,05	0,999	5,0	1,0
1,00	0,841	2,05	0,979	3,10	0,999	6,0	1,0

Таблица 11

Приведенная функция Лапласа $\Phi_0(z)$

z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$
0,00	0,000	0,58	0,304	1,16	0,566	2,10	0,843
0,02	0,011	0,60	0,314	1,18	0,574	2,15	0,853
0,04	0,021	0,62	0,324	1,20	0,582	2,20	0,862
0,06	0,032	0,64	0,334	1,22	0,589	2,25	0,871
0,08	0,043	0,66	0,344	1,24	0,597	2,30	0,879
0,10	0,054	0,68	0,354	1,26	0,604	2,35	0,887
0,12	0,064	0,70	0,363	1,28	0,612	2,40	0,894
0,14	0,075	0,72	0,373	1,30	0,619	2,45	0,901
0,16	0,086	0,74	0,382	1,32	0,626	2,50	0,908
0,18	0,096	0,76	0,392	1,34	0,634	2,55	0,914
0,20	0,107	0,78	0,401	1,36	0,641	2,60	0,921
0,22	0,118	0,80	0,410	1,38	0,648	2,65	0,926
0,24	0,128	0,82	0,420	1,40	0,655	2,70	0,931
0,26	0,139	0,84	0,429	1,42	0,662	2,75	0,936
0,28	0,149	0,86	0,438	1,44	0,668	2,80	0,941
0,30	0,160	0,88	0,447	1,46	0,675	2,85	0,945
0,32	0,171	0,90	0,456	1,48	0,682	2,90	0,949
0,34	0,181	0,92	0,465	1,50	0,688	2,95	0,953
0,36	0,192	0,94	0,474	1,55	0,704	3,00	0,957
0,38	0,202	0,96	0,483	1,60	0,719	3,2	0,969
0,40	0,212	0,98	0,491	1,65	0,734	3,4	0,978

z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$	z	$\Phi_0(z)$
0,42	0,223	1,00	0,500	1,70	0,748	3,6	0,984
0,44	0,233	1,02	0,508	1,75	0,762	3,8	0,989
0,46	0,244	1,04	0,516	1,80	0,775	4,0	0,993
0,48	0,259	1,06	0,525	1,85	0,787	4,2	0,995
0,50	0,264	1,08	0,534	1,90	0,800	4,4	0,997
0,52	0,274	1,10	0,542	1,95	0,811	4,6	0,998
0,54	0,284	1,12	0,550	2,00	0,822	4,8	0,999
0,56	0,294	1,14	0,558	2,05	0,833	5,0	0,999

Т а б л и ц а 12

Значения функции $\varphi(x) = (1/\sqrt{2\pi}) e^{-x^2/2}$

x		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	0,	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	0,	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3846	3825
0,3	0,	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3725	3712	3697
0,4	0,	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	0,	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	0,	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	0,	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	0,	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	0,	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,	2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	0,	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	0,	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	0,	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	0,	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	0,	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	0,	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1106	0,989	0,973	0,957
1,7	0,0	9405	9246	9089	8933	8780	8628	8478	8329	8183	8038
1,8	0,0	7895	7754	7614	7477	7341	7206	7074	6943	6814	6687
1,9	0,0	6652	6438	6316	6195	6077	5959	5844	5730	5618	5508
2,0	0,0	5399	5292	5186	5082	4980	4879	4780	4682	4586	4491
2,1	0,0	4398	4307	4217	4128	4041	3955	3871	3788	3706	3626
2,2	0,0	3547	3470	3394	3319	3246	3174	3103	3034	2965	2898
2,3	0,0	2833	2768	2705	2643	2582	2522	2463	2406	2349	2294
2,4	0,0	2239	2186	2134	2083	2033	1984	1936	1888	1842	1797
2,5	0,0	1753	1709	1667	1625	1585	1545	1506	1468	1431	1394
2,6	0,0	1358	1324	1289	1256	1223	1191	1160	1130	1100	1071
2,7	0,0	1042	1014	0987	0961	0935	0909	0885	0861	0837	0814
2,8	0,00	7915	7696	7483	7274	7071	6873	6679	6491	6307	6127
2,9	0,00	5952	5782	5616	5454	5296	5143	4993	4847	4705	4567
3,0	0,00	4432	4301	4173	4049	3928	3810	3695	3584	3475	3370
3,5	0,00	0900	0810	0800	0790	0780	0770	0690	0680	0670	0600
4,0	0,000	1338	0893	0589	0385	0249	0160	0101	0064	0040	0024

Таблица значений функции e^{-x}

x	Доли x				
	0	0,001	0,002	0,003	0,004
0,00	1,0000	0,9990	0,9980	0,9970	0,9960
0,01	0,9900	0,9891	0,9881	0,9871	0,9861
0,02	0,9802	0,9792	0,9782	0,9773	0,9763
0,03	0,9704	0,9695	0,9685	0,9675	0,9666
0,04	0,9608	0,9598	0,9588	0,9579	0,9570
0,05	0,9512	0,9502	0,9493	0,9484	0,9474
0,06	0,9418	0,9408	0,9399	0,9389	0,9380
0,07	0,9324	0,9315	0,9305	0,9226	0,9287
0,08	0,9231	0,9222	0,9213	0,9204	0,9194
0,09	0,9139	0,9130	0,9121	0,9112	0,9103

x	0	0,01	0,02	0,03	0,04
0,1	0,9048	0,8958	0,8869	0,8781	0,8694
0,2	0,8187	0,8106	0,8025	0,7945	0,7866
0,3	0,7408	0,7334	0,7261	0,7189	0,7118
0,4	0,6703	0,6637	0,6570	0,6505	0,6440
0,5	0,6065	0,6005	0,5945	0,5886	0,5825
0,6	0,5488	0,5434	0,5379	0,5326	0,5273
0,7	0,4966	0,4916	0,4868	0,4819	0,4771
0,8	0,4493	0,4449	0,4404	0,4360	0,4317
0,9	0,4066	0,4025	0,3985	0,3946	0,3906
1,0	0,3679	0,3642	0,3606	0,3570	0,3535
1,1	0,3329	0,3292	0,3263	0,3230	0,3198
1,2	0,3012	0,2982	0,2952	0,2923	0,2894
1,3	0,2725	0,2698	0,2671	0,2645	0,2618
1,4	0,2466	0,2441	0,2417	0,2393	0,2369
1,5	0,2231	0,2209	0,2187	0,2165	0,2144
1,6	0,2019	0,1999	0,1979	0,1959	0,1940
1,7	0,1827	0,1809	0,1791	0,1773	0,1755
1,8	0,1653	0,1637	0,1620	0,1604	0,1588
1,9	0,1496	0,1481	0,1466	0,1451	0,1437
2,0	0,1353	0,1340	0,1327	0,1313	0,1300
2,2	0,1108	0,1097	0,1086	0,1075	0,1065
2,3	0,1003	0,0993	0,0983	0,0973	0,0963
2,4	0,0907	0,0898	0,0889	0,0880	0,0872
2,5	0,0821	0,0813	0,0805	0,0797	0,0789
2,6	0,0743	0,0735	0,0728	0,0721	0,0714
2,7	0,0672	0,0665	0,0659	0,0652	0,0646
2,8	0,0608	0,0602	0,0596	0,0590	0,0584
2,9	0,0550	0,0545	0,0539	0,0534	0,0529

x	0	0,1	0,2	0,3	0,4
3	0,0498	0,0450	0,0408	0,0368	0,0334
4	0,0183	0,0166	0,0150	0,0136	0,0123
5	0,0067	0,0061	0,0055	0,0050	0,0045
6	0,0025	0,0022	0,0020	0,0018	0,0017

Доли х				
0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
0,9950	0,9940	0,9930	0,9920	0,9910
0,9851	0,9841	0,9831	0,9822	0,9812
0,9753	0,9743	0,9734	0,9724	0,9714
0,9656	0,9646	0,9637	0,9627	0,9618
0,9560	0,9550	0,9541	0,9531	0,9522
0,9465	0,9455	0,9446	0,9436	0,9427
0,9371	0,9361	0,9352	0,9343	0,9333
0,9277	0,9258	0,9259	0,9250	0,9240
0,9185	0,9176	0,9167	0,9158	0,9148
0,9094	0,9085	0,9076	0,9066	0,9057
0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,8607	0,8521	0,8437	0,8353	0,8270
0,7788	0,7711	0,7634	0,7558	0,7483
0,7047	0,6977	0,6907	0,6839	0,6771
0,6376	0,6313	0,6250	0,6188	0,6126
0,5712	0,5655	0,5655	0,5599	0,5543
0,5220	0,5169	0,5117	0,5066	0,5016
0,4724	0,4677	0,4630	0,4584	0,4538
0,4274	0,4232	0,4190	0,4118	0,4107
0,3867	0,3829	0,3791	0,3753	0,3716
0,3499	0,3465	0,3430	0,3396	0,3362
0,3166	0,3135	0,3104	0,3073	0,3042
0,2865	0,2837	0,2808	0,2780	0,2753
0,2592	0,2567	0,2541	0,2516	0,2491
0,2346	0,2322	0,2299	0,2276	0,2254
0,2122	0,2101	0,2080	0,2060	0,2039
0,1920	0,1901	0,1882	0,1864	0,1845
0,1738	0,1720	0,1703	0,1686	0,1670
0,1572	0,1557	0,1541	0,1526	0,1511
0,1423	0,1409	0,1395	0,1381	0,1367
0,1287	0,1275	0,1262	0,1249	0,1237
0,1054	0,1044	0,1033	0,1023	0,1013
0,0954	0,0944	0,0935	0,0926	0,0916
0,0863	0,0854	0,0846	0,0837	0,0829
0,0781	0,0773	0,0765	0,0758	0,0750
0,0707	0,0699	0,0693	0,0686	0,0679
0,0639	0,0633	0,0627	0,0620	0,0614
0,0578	0,0573	0,0567	0,0561	0,0556
0,0523	0,0518	0,0513	0,0508	0,0503
0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,0302	0,0273	0,0247	0,0224	0,0200
0,0111	0,0101	0,0091	0,0082	0,0074
0,0041	0,0037	0,0033	0,0030	0,0027
0,0015	0,0014	0,0012	0,0011	0,001

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. М., 1975.
2. Сборник задач по теории надежности / А.М. Половко, И.М. Маликов, А.Н. Жигарев, В.И. Зарудный. Под ред. А.М. Половко и И.Н. Маликова. М., 1972.
3. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры / А.К. Быкадоров, Л.И. Кульбак, В.Ю. Лавриенко и др. Под ред. В.Ю. Лавриенко. М., 1978.
4. Алексеенко А.Я., Адерихин И.В. Эксплуатация радиотехнических систем. М., 1980.
5. Михайлов А.В. Эксплуатационные допуски и надежность в радиоэлектронной аппаратуре. М., 1970.
6. Л. Клейнрок. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. канд. техн. наук И.И. Грушко. Под ред. д-ра техн. наук В.И. Неймана. М., 1979.
7. Оценка эффективности технических мероприятий по обеспечению надежности радиоэлектронной аппаратуры / А.С. Груничев, В.А. Долгов, В.И. Елисеев, А.Г. Цветков. М., 1976.
8. Бережной В.П., Дубицкий Л.Г. Выявление причин отказов РЭА. Под ред. Л.Г. Дубицкого. М., 1983.
9. Левин В.Р. Теория надежности радиотехнических систем. М., 1978.
10. Основы инженерной психологии / В.А. Душнов, Б.Ф. Ломов, П.А. Смирнов и др. Под ред. Б.Ф. Ломова. 2-е изд., доп. и перераб. М., 1986.
11. Фомин А.В., Боченков Ю.И., Сорокопуд В.А. Технология, надежность и автоматизация производства БГИС и микросборок. М., 1981.
12. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М., 1962.
13. Глазунов Л.П., Смирнов А.Н. Проектирование технических систем диагностирования. Л.: Энергоиздат, 1982.
14. Данилин Н.С. Неразрушающий контроль качества продукции радиоэлектроники. М., 1976.
15. Пряников В.С. Прогнозирование отказов полупроводниковых приборов. М., 1978.
16. Кульбак Л.И. Основы расчета обеспечения электронной аппаратуры запасными элементами. М., 1970.
17. Давыдов П.С. Техническая диагностика радиоэлектронных устройств и систем. М., 1988.
18. Кудрицкий В.Ф. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры. М. 1977.
19. Байда Н.П., Кузьмин И.М., Шпилевой В.Т. Микропроцессорные системы поэлементного диагностирования РЭА. М., 1987.
20. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики. М., 1981.

21. Кишнт Н.В., Герасимов Г.Н., Кац М.А. Диагностика электрических цепей. М., 1983.
22. Соловьев В.В. Интегральные методы диагностики и контроля неисправностей бытовой радиоэлектронной аппаратуры. М., 1984.
23. Пашковский Г.С. Задачи оптимального обнаружения и поиска отказов в РЭА. М., 1981.
24. Мозгалеvский А.В., Калявин В.П., Костанди Г.Г. Диагностирование электронных систем. Л., 1984.
25. Калявин В.П., Мозгалеvский А.В. Технические средства диагностирования. Л., 1984.
26. Бахтияров Г.Д., Малинин В.В., Школин В.П. Аналого-цифровые преобразователи. М., 1980.
27. Микроэлектронные цифро-аналоговые и аналого-цифровые преобразователи /В.В. Смолов, В.П. Угрюмов, В.К. Шмидт и др. Под ред. В.В. Смолова, Л., 1976.
28. Полевые транзисторы и интегральные микросхемы. Технический каталог. М., 1975.
29. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения. М., 1985.
30. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. М., 1989.
31. Лапшин Г.М. Достигнутый уровень и перспективы развития отраслевой группы ремонта бытовой радиоэлектронной аппаратуры. М., 1986.
32. Справочник хозяйственника службы быта / Под ред. И.Г. Дуденкова и И.М. Шатаева. Т. 2. М., 1985.
33. Рекомендации. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Показатели и оценка ремонтпригодности и контролепригодности Р-50-84-88. М., 1988.
34. Общие требования к отремонтированной бытовой РЭА. РД-50-695. М., 1990.
35. ГОСТ 2137-87. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы испытаний на надежность. М., 1987.

Предисловие 3

Раздел I. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И НАДЕЖНОСТИ БЫТОВОЙ РЭА 5

Глава 1. Принципы организации эксплуатации бытовой РЭА 5

- 1.1. Общая характеристика бытовой РЭА 5
- 1.2. Основные понятия и определения. Задачи эксплуатации 6
- 1.3. Эксплуатационно-технические показатели 11
- 1.4. Основные понятия теории вероятностей и массового обслуживания 13
- 1.5. Задачи для самостоятельного решения 21

Глава 2. Надежность РЭА 23

- 2.1. Безотказность 23
- 2.2. Общие сведения о законах распределения времени безотказной работы 32
- 2.3. Ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость 39
- 2.4. Готовность 43
- 2.5. Влияние различных факторов на показатели надежности 46
- 2.6. Задачи для самостоятельного решения 55

Глава 3. Методы повышения надежности РЭА 57

- 3.1. Общие методы повышения надежности 57
- 3.2. Повышение надежности на основе внедрения микроэлектроники 59
- 3.3. Резервирование 62
- 3.4. Задачи для самостоятельного решения 71

Глава 4. Расчет надежности РЭА 73

- 4.1. Аналитический метод расчета 73
- 4.2. Расчет надежности по статистическим данным 76
- 4.3. Критерии согласия 86
- 4.4. Контроль надежности 91
- 4.5. Испытания по оценке надежности бытовой РЭА 100
- 4.6. Задачи для самостоятельного решения 105

Раздел II. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ БЫТОВОЙ РЭА 108

Глава 5. Ремонтпригодность РЭА 108

- 5.1. Ремонтпригодность аппаратуры и факторы, влияющие на нее 108
- 5.2. Распределение времени текущего ремонта 112
- 5.3. Поиск неисправных элементов 115

- 5.4. Расчет ремонтпригодности 118
- 5.5. Задачи для самостоятельного решения 124

Глава 6. Основы технического обслуживания РЭА 124

- 6.1. Содержание и этапы технического обслуживания 124
- 6.2. Периодичность и продолжительность профилактических работ 128
- 6.3. Общие положения о комплектации РЭА ЗИПом 132
- 6.4. Определение комплекта запасных ремонтируемых элементов 134
- 6.5. Определение комплекта запасных неремонтируемых элементов 138
- 6.6. Задачи для самостоятельного решения 144

Глава 7. Организация технического обслуживания и ремонта бытовой РЭА 146

- ① 7.1. Основные задачи и правила фирменного технического обслуживания бытовой РЭА 146
- ③ 7.2. Техническое обслуживание и ремонт в период гарантийного срока 150
- ⑤ 7.3. Техническое обслуживание и ремонт по окончании гарантийного срока 154
- ⑩ 7.4. Организация контроля качества технического обслуживания и ремонта 157
- 7.5. Инженерно-психологические основы эксплуатации 160
- 7.6. Эффективность и экономичность эксплуатации 168

Раздел III. КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА БЫТОВОЙ РЭА 172

Глава 8. Основные положения контроля и диагностики бытовой РЭА 172

- 8.1. Задачи контроля и диагностики 172
- 8.2. Структура системы контроля и диагностики 174
- 8.3. Выбор параметров для контроля и диагностики 179
- 8.4. Основные способы построения алгоритмов поиска неисправностей 184
- 8.5. Интегральные методы диагностики 211
- 8.6. Эффективность контроля и диагностики 219

Глава 9. Средства контроля и диагностики бытовой РЭА 222

- 9.1. Виды аппаратуры контроля и диагностики 222
- 9.2. Электронные датчики системы контроля и диагностики 226
- 9.3. Коммутирующие устройства системы контроля и диагностики 233
- 9.4. Аппаратура контроля и диагностики 242
- 9.5. Автоматизация контроля и диагностики бытовой РЭА 249

Приложения. Математические таблицы 254

- Список литературы 266

Учебное издание

**ЛЕОНОВ АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ,
ДУБРОВСКИЙ НИКОЛАЙ ФИЛИППОВИЧ**

**Основы технической эксплуатации
бытовой радиоэлектронной
аппаратуры**

Редактор *А.И. Шмыгин*

Художественный редактор *В.В. Зеркаленкова*

Технические редакторы *Т.П. Астахова, М.Е. Черенкова.*

Корректоры *Т.А. Лашкина, А.И. Гурычева*

ИБ № 481

Сдано в набор 28.05.90. Подписано в печать 03.04.91. Формат 60X
X88/16. Бумага офсетная №2. Гарнитура Пресс-роман. Офсет.
Объем 17,0 п.л. Усл. п.л. 16,66. Усл. кр.-отт. 16,91. Уч.-изд.л. 17,07.
Тираж 15 000 экз. Заказ 12 56 Цена 1 р. 10 к.

Издательство "Легкая промышленность и бытовое обслуживание".
113035, Москва, 1-й Кадашевский пер., д. 12.

Набрано на наборно-пишущих машинах в издательстве "Легкая
промышленность и бытовое обслуживание". Отпечатано в Мос-
ковской типографии №9 НПО "Всесоюзная книжная палата" Гос-
компечати СССР. 109044, Москва, Волочаевская ул., 40.

**ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ ОТРАСЛИ
БЫТОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ!**

Магазин № 153 им. Ивана Федорова предлагает литературу издательства "Легкая промышленность и бытовое обслуживание":

Герасимова В.Ф. Технология прачечного производства. — 1985. — 10 л. — 30 к.

Граусман О.М. Химические материалы, красители и моющие средства. — 1985. — 15 л. — 45 к.

Колосов Ю.В. Автоматизация производственных процессов на предприятиях пошива одежды по индивидуальным заказам. — 1985. — 10 л. — 35 к.

Сорокин М.В., Савосин В.И. Бытовое обслуживание населения Нечерноземной зоны РСФСР. — 1985. — 7 л. — 25 к.

Адрес магазина № 153: Москва, ул. Костякова, 9;
тел. для справок: 211-13-77.