

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективность любой технической системы, в том числе радиоэлектронного оборудования, характеризуется прежде всего ее техническими параметрами и надежностью. В свою очередь, надежность как сложное свойство, в зависимости от назначения системы или объектов, состоит из сочетания свойств безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохраняемости, зависит от условий использования радиоэлектронного оборудования и средств автоматики (РЭОиСА).

Главной задачей технической эксплуатации является постоянный контроль технического состояния и надежности РЭОиСА и поддержание их на уровне, достаточном для выполнения заданных функций. В решении этой задачи значительное место отводится техническому обслуживанию оборудования.

Техническое обслуживание (ТО) определяется комплексом операций по поддержанию исправности или работоспособности оборудования. Одним из основных критериев эффективности использования объектов является трудоемкость ТО, которая зависит от их конструктивных особенностей и эксплуатационных факторов. Существенное влияние на эффективность ТО оборудования оказывает его ремонтопригодность, которая зависит от условий эксплуатации РЭОиСА. Совершенствование системы ТО, улучшение организации и технологии ремонта, а также расширение сети участков для технического диагностирования и ремонта РЭОиСА способствуют повышению эффективности их эксплуатации.

Судовое РЭОиСА используются, как правило, во время плавания. В связи с этим сбор первичной информации об их работе может осуществляться только судовым обслуживающим персоналом.

В процессе эксплуатации сложных технических систем важно знать, каким запасом надежности обладает система, какова роль обслуживающего персонала в деле поддержания надежности на приемлемом уровне, какие блоки, узлы, элементы системы работают наиболее ненадежно и требуют замен или доработок.

В настоящее время глубоко разработана теория надежности и дано ее математическое обоснование. Однако для решения проблем надежности РЭОиСА в реальных условиях эксплуатации необходима непрерывная, полная и достоверная информация об их работе в этих условиях.

Специалисты, занятые обслуживанием РЭОиСА, а также штурманский состав заинтересованы в том, чтобы они работали без сбоев, исправно и надежно. Однако не все знают, что следует понимать под обеспечением надежности, от чего она зависит, что необходимо для создания высоконадежных приборов и как сохранить в течение расчетного периода эксплуатации надежность, которая заложена при их создании. Решению этих вопросов и посвящена данная книга.

Предлагаемый вниманию читателей курс лекций по надежности радиооборудования соответствует программе «Надежность и техническая диагностика радиоэлектронного оборудования» для специальности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования».

Книга является продолжением и развитием учебного пособия «Надежность и диагностика транспортного радиооборудования и средств автоматики» (М.: Моркнига, 2012), написанного автором совместно с Н. В. Калитёнковым и рекомендованного Минобрнауки РФ для курсантов специ-

альности «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» в качестве учебного пособия.

Объем каждой лекции рассчитан на два-четыре академических часа; количество лекций по дисциплине «Надежность транспортного радиооборудования и средств автоматики» на изучение курса в течение одного семестра (16–17 недель).

Лекции содержат тщательно подобранные иллюстрации, а также примеры решения типовых задач. При возникновении дополнительных вопросов по темам автор рекомендует изучить соответствующий раздел учебных пособий, включенных в список рекомендуемой литературы.

## ЛЕКЦИЯ 1

# КРАТКАЯ ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА. ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОВЫШЕННОЕ ВНИМАНИЕ К ПРОБЛЕМАМ НАДЕЖНОСТИ СУДОВОГО РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ (РЭОиСА)

Вопросам обеспечения высокой надежности аппаратуры при конструировании и эксплуатации технических объектов всегда уделялось большое внимание. Оснащение судов сложным оборудованием в 1940–1950-е гг. потребовало уменьшения его габаритов и массы, прежде всего за счет материалов, что привело к снижению запаса прочности и, следовательно, уменьшению надежности проектируемых устройств. Именно с появлением сложной аппаратуры надежность стала определяющим фактором обеспечения эффективного использования РЭОиСА. В этот период появились специальные работы, посвященные вопросам надежности. Исследования и области надежности способствовали появлению теории надежности.

**В развитии современной теории надежности можно выделить три периода.**

*Первый* период (период становления) (конец 1940-х — начало 1960-х гг.) характеризуется тем, что надежность объектов оценивалась по числу за-

фиксированных отказов, расчет надежности производился с учетом статистических данных по интенсивностям отказов входящих в систему элементов.

В нашей стране первые исследования в области надежности были выполнены в 1950-е гг. академиками АН СССР А. И. Бергом, Н. Г. Бруевичем и членом-корреспондентом АН СССР В. И. Сифоровым. В этот период появились работы ведущих специалистов в данной области А. М. Половко, Г. В. Дружинина, Н. А. Шишонина и др.

В начале 1960-х гг. интенсивно разрабатываются математические методы теории надежности (Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев). В развитие методов теории надежности большой вклад внесли зарубежные ученые Дж. Нейман, К. Шенон, А. Пирс.

*Второй* период (1960-е гг.) характеризуется тем, что при оценке надежности объектов стали учитывать влияние функциональных связей между элементами системы, влияние внутренних факторов (режимов работы) и внешних факторов (температуры, влажности, давления, вибраций, излучений и др.). В это время методы расчета и оптимизации надежности объектов получили распространение во всех отраслях техники (Я. К. Барлоу, С. Прошан, В. В. Болотин и др.). Многие вопросы надежности были стандартизованы, большое внимание уделялось физике отказов (Б. С. Сотсков).

*Третий* период (вторая половина 1970-х гг.) характеризуется углубленным изучением физико-химических и статистических закономерностей появления отказов как в простых, так и в сложных системах.

Развитие теоретических и прикладных методов исследования надежности было связано с разработкой новых средств радиоэлектроники и сложных систем управления. Следует выделить три направления теории надежности.

*Первое* направление связано с рассмотрением вопросов общей теории надежности — научной дисциплины, которая изучает общие закономерности отказов и восстановления технических устройств и общие методы и способы обеспечения надежности.

*Второе* направление связано с изучением надежности отдельных элементов и устройств, которые рассматриваются в специальных курсах. Так, при изучении электровакуумных и полупроводниковых приборов и интегральных схем большое внимание должно быть уделено вопросам надежности этих приборов, необходимо определить влияние внешних условий на их надежность и т. д.; при изучении усилительных схем (низкочастотных, высокочастотных импульсных и т. д.) важно усвоить методы расчета надежности этих схем при изменении параметров отдельных элементов.

*К третьему* направлению следует отнести изучение специальных вопросов теории надежности, а также методов и способов ее повышения.

*Теория надежности как научная дисциплина* изучает закономерности возникновения и устранения отказов объектов.

В теории надежности исследуются закономерности возникновения отказов объектов, восстановления их работоспособности, рассматривается влияние внешних и внутренних воздействий на процессы, происходящие в объектах, разрабатываются методы расчета надежности систем, изыскиваются способы повышения их надежности при проектировании и изготовлении, а также способы сохранения надежности при эксплуатации, определяются методы сбора, учета и анализа статистических данных, характеризующих надежность объектов.

К основным причинам, определяющим повышенное внимание к проблемам надежности РЭОиСА, относятся:

- повышение сложности аппаратуры;
- медленный рост уровня надежности комплектующих элементов по сравнению с ростом числа элементов в аппаратуре;
- увеличение важности выполняемых аппаратурой функций и, как следствие, повышение требований к надежности судовой аппаратуры;
- усложнение условий эксплуатации РЭОиСА.

Благодаря интеграции дискретных активных и пассивных элементов в одной гибридной монолитной схеме стало возможным развитие новой отрасли электроники — микроэлектроники, позволяющей еще больше сократить габариты аппаратуры и значительно расширить ее функциональные возможности.

Наибольшее распространение в РЭОиСА получили цифровые (логические) интегральные микросхемы и схемы памяти, так как их схемотехника основывается на бистабильных переключательных элементах, которые сравнительно легко реализуются в твердотельном исполнении. Однако в процессе внедрения полупроводниковых приборов и интегральных микросхем в радиоэлектронную аппаратуру возник ряд проблем. Одной из основных была проблема обеспечения высокой надежности функционирования приборов в аппаратуре. Теоретически долговечность идеального полупроводникового прибора исчислялась нескользкими сотнями лет. Такой прогноз казался обоснованным, так как базировался на том, что долговечность прибора, в котором отсутствуют движущиеся механические части и в качестве активной области используется твердый полупроводник, определяется в основном износостойкостью конструкционных материалов и скоростью деградационных физико-химических процессов. Однако на практике столь многообещающий прогноз не подтвердился. Реальные полупроводниковые приборы, пришедшие на смену

электронным лампам, имели сравнительно низкую долговечность и часто выходили из строя.

Существующая на сегодняшний день тенденция оснащения рыбопромысловых судов ведет к дальнейшему увеличению числа судовых радиоэлектронных средств, а также к росту их технической сложности. В свою очередь, сложность, ответственность и уникальность задач, решаемых радиоэлектронной аппаратурой на флоте в настоящее время, предъявляют к ним высокие требования, важная роль среди которых принадлежит количественным требованиям по надежности. Это связано с тем, что отказ одного из рассматриваемых технических устройств зачастую может привести к неизвестным последствиям.

Уровень надежности радиоэлектронного оборудования в значительной степени определяет эффективность его применения в системах обеспечения безопасности мореплавания. В морских условиях эксплуатации радиооборудование изнашивается быстрее, чем береговое оборудование, что вызывает рост вероятности возникновения отказов в процессе эксплуатации.

*К судовому радиоэлектронному оборудованию* относятся электронавигационные приборы (ЭРНП): гирокомпасы, лаги, эхолоты, радиолокационные станции, радиопеленгаторы, приемоиндикаторы радионавигационных систем и рыбопоисковые приборы. По способу применения ЭРНП делят на две группы:

- приборы эпизодического действия;
- приборы непрерывного действия.

*К приборам эпизодического действия* относятся радиолокационная станция (РЛС), эхолот, радиопеленгатор, приемоиндикаторы радионавигационных систем и рыбопоисковые приборы. Процесс эксплуатации этих приборов является эпизодическим, а применение их по целевому назначению ограничено определенными временными интервала-

лами, которые определяются навигационной и промысловой необходимостью.

К приборам непрерывного действия относятся гирокомпас и лаг. Они применяются по своему целевому назначению в течение всего рейса.

Судовое радиооборудование эксплуатируется в различных, часто меняющихся климатических условиях:

- температура воздуха колеблется на открытой палубе от  $-4$  до  $60^{\circ}\text{C}$  (суточные изменения температуры могут достигать  $40^{\circ}\text{C}$ ), в помещениях судна — от  $-1$  до  $45^{\circ}\text{C}$ ;
- относительная влажность воздуха может достигать 75% при  $0^{\circ}\text{C}$ ; 46 или 80% при  $40^{\circ}\text{C}$  и 95% при  $20^{\circ}\text{C}$ ;
- на радиооборудование, в частности размещенное на открытой палубе, возможно воздействие морской соленой воды, росы и тумана;
- прямое ультрафиолетовое излучение.

Кроме того, на работу РЭОиСА оказывают воздействие следующие факторы:

- длительный крен судна, который может достигать  $15^{\circ}$ , дифферент —  $7^{\circ}$ , бортовая качка —  $20^{\circ}$ , килевая качка —  $10^{\circ}$ ; общая вибрация, создаваемая работой отдельных механизмов, может достигать 30 Гц; испытываемые РЭО ускорения могут превышать  $5 \text{ м/с}^2$ ; удары волн, которые могут вызвать сотрясения;
- грибковые образования (наиболее благоприятны для развития грибковых образований повышенная влажность и температура  $25$ – $35^{\circ}\text{C}$ );
- насекомые, грызуны;
- загрязненность воздуха механическими и химическими примесями. Так, пыль, находящаяся в воздухе помещений, где эксплуатируются РЭОиСА, представляет собой ча-

- стицы твердых пород размером 0,05–0,02 мм, они имеют угловатую форму, обладают абразивными свойствами;
- содержание паров масла и нефтепродуктов в воздухе машинно-котельных отделений, взрывоопасных смесей в аккумуляторных и насосных помещениях.

На надежность РЭОиСА существенное влияние оказывает режим эксплуатации. При смене режима возможны неправильные действия обслуживающего персонала, вызванные нарушением порядка, объема и метода технического обслуживания и ремонтных работ.

Различные условия эксплуатации, находящиеся зачастую в сложной зависимости между собой, как правило, оказывают на судовое радиооборудование дестабилизирующее действие, т. е. вызывают отклонение его основных параметров от установленных значений. Знание механизма влияния условий эксплуатации необходимо для правильной организации и проведения различных мероприятий, обеспечивающих использование судового радиооборудования по назначению.

## **ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НАДЕЖНОСТЬ РЭОиСА. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ**

К основным факторам, которые оказывают влияние на надежность судовой аппаратуры, относятся тепловые поля, влажность окружающей среды, механические воздействия, солнечная радиация, режимы работы.

Все факторы можно разделить на конструктивные, производственные и эксплуатационные.

Конструктивные и производственные факторы оказывают влияние на надежность РЭОиСА в процессе проектирования и изготовления. К ним отно-

сятся выбор схемных и конструктивных решений, технология производства, выбор элементов и режимов работы, входной контроль комплектующих элементов.

*Эксплуатационные факторы* проявляются вне сферы проектирования и производства. По характеру воздействия на объект их можно подразделить на *объективные деградационные факторы*, обусловленные естественными процессами старения, износа, коррозии, усталости, и *субъективные факторы*, обусловленные несоблюдением или нарушением правил технической эксплуатации обслуживающим персоналом. Объективные факторы могут быть внешними и внутренними.

Рассмотрим внешние воздействия, которые влияют на надежность РЭОиСА, построенных с использованием полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.

В процессе эксплуатации радиоэлектронная аппаратура подвергается динамическим воздействиям: вибрациям и ударам. Эти воздействия передаются на элементы радиоэлектронного оборудования (РЭО), вызывая нарушение нормального режима работы и их механические повреждения.

Под действием *механических нагрузок* в элементах конструкции приборов возникают динамические и статические деформации, сопровождающиеся сложными колебательными процессами, так как корпусные и активные элементы прибора представляют собой своего рода колебательную систему, состоящую из блока, стержней с различными видами закреплений концов, нагруженных сосредоточенной и распределенной массой.

Для элементов конструкции наиболее опасными являются вибрации с частотой 15–150 и 175–500 Гц. Первому частотному диапазону соответствуют вызывающие резонансные явления в элементах конструкции, второму — резонансные колебания электрических элементов.

В случае *ударно-вibrationных нагрузок* механическое воздействие на прибор передается элементам его конструкции через области крепления в аппаратуре. С другой стороны, элементы конструкции в местах крепления приборов служат своего рода демпфирующими устройствами, ослабляющими воздействие источника вибрации на остальные конструктивные элементы прибора.

Конструктивные элементы прибора по-разному реагируют на механические воздействия. Например, реакция корпуса электронного прибора и внутренней арматуры обусловлена их деформацией за счет вибраций и проявляется в виде:

- деградации конструкции элементов внутренней арматуры (за счет усталостного разрушения, отслаивания);
- деформации токопроводящих элементов на поверхности полупроводникового кристалла, отслаивания и обрыва проводников;
- деформации переходного слоя между активным элементом и основанием, отрыва кристалла от кристаллодержателя;
- деградации активного элемента прибора, растрескивания и разрушения кристалла.

Для предотвращения механических перегрузок аппаратурные блоки размещают в местах с наименьшими перегрузками и, кроме того, применяют различного рода амортизационные устройства.

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И АГРЕССИВНЫЕ СРЕДЫ. ВОЗДЕЙСТВИЕ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Климатические факторы, такие как влажность, высокие и низкие температуры, солнечная радиация, в комплексе характеризуют окружающую среду, в которой эксплуатируется РЭО.

Наличие высокого содержания соли в атмосфере в сочетании с высокой относительной влажно-

стью и высокой температурой создает исключительно благоприятные условия для интенсивной коррозии металлов.

Воздействие колебаний температуры на приборы обусловлено сезонными и суточными изменениями температуры окружающей среды. Внешние температурные факторы могут действовать как самостоятельно при хранении РЭОиСА, так и в сочетании с собственным тепловым режимом РЭОиСА.

Суда рыбопромыслового флота неограниченно го плавания ведут промысел в разных районах Мирового океана. В таблице 1.1 приведены колебания температур внешней окружающей среды в различных районах земного шара.

Т а б л и ц а 1.1

Сезонные и суточные колебания температуры  
в различных районах плавания судов

Район	Колебания температуры, °C	
	сезонные	суточные
Экваториальная зона (тропики)	10–50	40
Умеренная зона	–20...40	25
Арктическая зона	–50...35	20

Реакция полупроводниковых приборов и интегральных микросхем на стационарное тепловое воздействие связана с температурной зависимостью их электрических параметров. Если режимы работы приборов выбраны правильно, грамотно сконструирована аппаратура, то изменения электрических параметров приборов при температурном воздействии будут находиться в допустимых пределах, не вызывая отказов аппаратуры. Вместе с тем длительная эксплуатация приборов при повышенных температурах приводит к старению исходных конструктивных материалов.

Во время длительной эксплуатации при высоких рабочих температурах многие современные материалы, выполненные на органической основе,

стекло и керамика претерпевают структурные изменения.

Так, у сплавов с высоким электрическим сопротивлением всегда нелинейно меняется проводимость, при высоких температурах становится нелинейным коэффициент температурного расширения, диэлектрические потери и диэлектрическая проницаемость материалов с повышением температуры, как правило, увеличиваются.

Изменение температурного режима РЭОиСА, обусловленное как поступлением тепла извне, так и выделением его термоактивными элементами внутри блока, способствует увеличению хрупкости металлических и пластмассовых конструкций РЭОиСА, снижению их устойчивости к вибрационным ударным воздействиям.

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЛАЖНОСТИ

Важным фактором, определяющим климатические условия работы аппаратуры, является влажность окружающей среды. Влияние влажности на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы связано с адсорбцией воды, содержащейся в окружающей атмосфере, на поверхности корпуса и выводов прибора. Влага в атмосфере содержится в парообразном состоянии и в виде растворов солей и кислот. Осаждаясь на поверхности корпусов приборов, она образует пленку электролита. Протекающие при этом химические реакции ускоряются под воздействием света и электрических полей. Коррозия металлических элементов корпусов приборов приводит к снижению их механической прочности. Объемная коррозия, связанная с проникновением влаги в поры и микротрещины, приводит к нарушению герметичности корпусов приборов.

*Морская вода* является весьма активным химическим соединением. Она легко взаимодействует с жидкостями, газами, твердыми веществами. Это

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)