**УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КОНСТРУКЦИЮ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

Условия эксплуатации ЭА и систем характеризуются комплексом параметров, называемых внешними воздействующими факторами, которые имеют различную физико-химическую природу и изменяются в весьма широких пределах. Эти факторы принято разделять на климатические, механические и радиационные.

К климатическим факторам относят: изменение температуры и влажности окружающей среды; тепловой удар; изменение атмосферного давления; наличие движущихся потоков пыли или песка; присутствие активных веществ в окружающей атмосфере; наличие солнечного облучения, грибковых образований (плесень), микроорганизмов, насекомых, грызунов; взрывоопасной и легковоспламеняющейся атмосферы; дождя и брызг; присутствие в окружающей среде озона.

К механическим факторам относят: воздействие вибраций, ударов, линейного ускорения, акустического удара.

К радиационным факторам относят: космическую радиацию; ядерную радиацию от реакторов, атомных двигателей, радиационно-опасных ситуаций; облучение потоком гамма-фотонов, нейтронов, бета-частиц, альфа-частиц, протонов, дейтронов.

Некоторые из перечисленных факторов могут проявлять себя независимо от остальных, а некоторые — в совместном действии с другими факторами. Например, наличие движущихся потоков песка неизбежно приводит к возникновению вибраций в элементах конструкции ЭА.

Так как электронно-вычислительная аппаратура принадлежит, как правило, к классу так называемых человеко-машинных систем, то важное влияние на работоспособность ЭА оказывает человеческий (субъективный) фактор. Квалификация специалиста сказывается на качестве работы ЭА на всех этапах ее жизненного цикла. Несоблюдение правил проектирования, изготовления и эксплуатации ЭА приводит в конечном итоге к снижению их качества. Известно, что в ряде случаев число отказов аппаратуры увеличивается с ростом частоты осмотров и ремонта. Внедрение автоматизации на всех этапах создания ЭА уменьшает влияние человеческого фактора.

***Климатические факторы***

Нормальными климатическими условиями являются: температура +25±10 °С, относительная влажность 45...80 %, атмосферное давление (8,3... 10,6) • 104 Па (630...800 мм рт. ст.), отсутствие активных веществ в окружающей атмосфере.

Совокупность воздействующих на конструкцию ЭА отдельных климатических факторов и их характеристики определяются той климатической зоной, в которой она эксплуатируется. Весь земной шар разделен на семь климатических зон, климат которых определяется как очень холодный, холодный, умеренный, тропически влажный, тропически сухой, умеренно холодный морской и тропический морской.

Очень холодный регион располагается в Антарктиде. Средняя минимальная температура в нем ниже -60 °С. Рекордной является зафиксированная в центральных районах Антарктиды на станции «Восток» температура -88,3 °С. Характерной особенностью этого региона является сочетание низких температур с сильным ветром.

В холодную зону включены большая часть России и Канады, Аляска, Гренландия. Средняя минимальная температура здесь достигает -50 °С, годовой перепад температур для некоторых районов составляет 80 °С, среднесуточный — до 40 °С. Особенностью для этой климатической зоны является наличие высокой прозрачности атмосферы, что благоприятно для ионизации воздуха и, как следствие, накоплению на поверхности аппаратуры статического электричества. Характерным также является обледенение, иней, ветер с мелкой снежной пылью.

В умеренный климатический регион включены часть территории России, большая часть Европы, США, прибрежные территории Австралии, Южной Африки и Южной Америки. Для него характерно годовое изменение температур от -35 до +35 °С, образование инея, выпадение росы, наличие тумана, изменение давления воздуха от 86 до 106 кПа.

Влажная тропическая зона располагается вблизи экватора и включает большую часть Центральной и Южной Америки, среднюю часть Африки, Юг Индии, Индонезию, часть Юго-Восточной Азии. Для этой зоны характерны среднегодовые температуры +20...+25 °С с перепадом температуры за сутки не более 10 °С. Высокая влажность и повышенная концентрация солей (особенно вблизи побережья морей и океанов) делает атмосферу этой зоны коррозионно-агрессивной. В промышленных районах в атмосфере содержится сернистый газ и хлориды. Благоприятное сочетание температуры и влажности способствует существованию более 10000 видов плесневых грибков.

К зоне с сухим тропическим климатом относят северную часть Африки, центральную Австралию, засушливые районы Средней Азии, Аравийский полуостров, часть Северной Америки. Этот регион характеризуется высокими температурами (до +55 °С), низкой влажностью, интенсивным солнечным излучением (до 1500 Вт/м2), высоким содержанием пыли и песка в атмосфере. Последнее способствует отрицательному абразивному и химическому воздействию на аппаратуру.

Умеренно холодная морская зона включает моря, океаны и прибрежные территории, расположенные севернее 30° северной широты и южнее 30° южной широты. Остальная часть морей, океанов и прибрежных территорий относится к тропически морской зоне. Климат морских зон отличается сравнительно небольшими суточными перепадами температур, наличием высокой влажности и значительной концентрацией хлоридов в атмосфере.

Учитывая специфику каждой из климатических зон, ЭА наземного базирования, предназначенная для работы в тропических зонах, должна быть изготовлена в соответствующем исполнении, что отмечается в документации индексом Т. ЭА, устанавливаемая на судах с неограниченным районом плавания, имеет обозначение ОМ. ЭА, пригодная для эксплуатации на суше и на море, имеет индекс В.

Повышенные и пониженные температуры влияют на место установки ЭА, расположение источников внешнего нагрева, выделение тепла активными элементами внутри ЭА и суточным изменением температуры окружающей среды. Так как электрические параметры МС и ЭРЭ темпера-турозависимы, необходимо, чтобы температура нагрева наиболее чувствительных к окружающей температуре элементов находилась в допустимых для этих элементов пределах. Кроме того, многие конструктивные материалы при высоких температурах претерпевают структурные изменения (тепловое старение материалов).

Работоспособность ЭА определяется допустимым температурным диапазоном работы, в котором ЭА должна выполнять заданные функции в рабочем, т. е. во включенном состоянии. Для исключения выхода из строя ЭА в процессе хранения и транспортирования в нерабочем, невключенном состоянии, необходимо, чтобы она выдерживала температуры, несколько большие допустимого диапазона. Эти температуры, называемые предельными, характеризуют тепло- и холодопрочность конструкции ЭА.

Тепловой удар характеризуется резким изменением температуры окружающей среды. При этом время изменения температуры исчисляется минутами, а ее перепад — десятками градусов. Наиболее сильно тепловой удар проявляется в элементах конструкции, где имеются локальные механические напряжения, способствуя образованию микротрещин, их росту и объединению.

Влажность — один из наиболее агрессивных воздействующих факторов, проявляющий себя при погружении аппаратуры в воду, воздействии капель дождя и брызг, водяных паров, образовании росы и инея с последующим его оттаиванием. Адсорбция на поверхности элементов ЭА конденсирующейся из окружающей атмосферы воды способствует коррозии металлических деталей, старению неметаллов, изменению электроизоляционных характеристик изоляторов. Кроме того, влага может выделяться из лакокрасочных и пропиточных материалов.

Вода, содержащаяся в атмосфере, всегда загрязнена активными веществами — углекислыми и сернистыми солями кальция, магния, железа, хлористым кальцием, газами — что еще больше способствует проявлению коррозии.

Выпадение росы на поверхность аппаратуры происходит при определенной температуре (точка росы), значение которой зависит от относительной влажности атмосферы:

Относительная влажность, % 100 80 60 40 20

Точка росы, °С 15,5 12,1 7,8 2,0 -6,6

Поглощение влаги различными материалами связано с тем, что межмолекулярные промежутки в полимерах, поры в керамике и других материалах в сотни раз превосходят размеры молекул воды. Способность воды смачивать поверхность и проникать в поры материалов и микротрещины в зоне спаев разнородных материалов увеличивается с повышением температуры. Так, при повышении температуры от +20 до +80 °С вязкость воды уменьшается в 3 раза, а величина поверхностного натяжения — более чем в 2 раза. Коэффициент самодиффузии при этом также увеличивается более чем в 3 раза.

Пониженное и повышенное давление окружающей среды зависит прежде всего от высоты над уровнем моря места, где эксплуатируется ЭА.

На границе между тропосферой и стратосферой (16 км) давление воздуха равно примерно 10 кПа. Содержание влаги в атмосфере с ростом высоты также уменьшается. При снижении давления ухудшается отвод тепла конвективным теплообменом, уменьшается электрическая прочность воздуха, что приводит к ионизации воздуха и образованию химически активных ионов и радикалов. Повышенное атмосферное давление оказывает в первую очередь механическое воздействие на элементы конструкции ЭА.

Пыль и песок, содержащиеся в атмосфере, оседая на поверхности деталей ЭА, могут стать причиной возникновения в ней неисправностей. Пыль содержит углекислые и сернокислые соли и хлориды, которые, взаимодействуя с влагой, ускоряют процессы коррозии. Кроме того, находящаяся в воздухе пыль способствует утечке зарядов и может вызвать пробой промежутка, находящегося между контактами с высоким потенциалом. Стандартами определены три уровня концентрации пыли: 0,18; 1,0; 2,0 г/м3.

К активным веществам в окружающей аппаратуру атмосфере относят сернистый газ, хлористые соли, пары кислот, щелочей и др. Их содержание в атмосфере районов, находящихся в прибрежной зоне, значительно больше, чем во внутриконтинентальных районах. Различают три типа атмосферы: атмосфера сельской местности (содержание сернистого газа не более 0,02 мг/м3), атмосфера промышленного района (сернистый газ 0,02...2 мг/м3, хлористые соли не более 0,3 мг/м3), морская атмосфера (хлористые соли 2...2000 мг/м3).

Солнечное облучение также активно воздействует на работоспособность ЭА. Спектр излучаемой солнцем энергии состоит из трех составляющих: ультрафиолетовая часть, видимая часть, инфракрасная часть. На ультрафиолетовую часть спектра приходится около 9 % энергии излучения, на волны видимой части — около 41 %, на инфракрасную часть — около 50 %. Примерно 35 % солнечной энергии поглощается в космическом пространстве, 19 % поглощается атмосферой Земли, около 46 % достигает земной поверхности.

Интегральная плотность потока солнечной энергии одинакова на поверхности Земли и на высоте 15 км и составляет 1125 Вт/м2, при этом 42 Вт/м2 приходится на ультрафиолетовую часть спектра.

Грибковые образования (плесень) относят к низшим растениям, не имеющим фотосинтеза. В процессе своей жизнедеятельности они выделяют лимонную, уксусную, щавелевую кислоты и другие химические вещества, под действием которых изменяются характеристики многих материалов. Активно поглощая воду, эти вещества способствуют ускорению процессов коррозии, ухудшают электроизоляционные свойства полимерных материалов и т. д.

Идеальные условия для развития грибковых образований: температура 25... 35 °С, относительная влажность 80... 100 %, неподвижность воздуха, отсутствие света (особенно ультрафиолетовой и инфракрасной частей спектра).

***Механические факторы***

В процессе транспортирования и эксплуатации ЭА подвергается воздействию вибраций, представляющих собой сложные колебания, которые возникают при контакте конструктивных элементов с источником колебаний. Особо опасны вибрации, частота которых близка к собственным частотам колебаний узлов и элементов конструкции. Свойство аппаратуры противодействовать их влиянию характеризуется вибропрочностью и виброустойчивостью. Виброустойчивость определяет способность ЭА выполнять заданные функции во включенном состоянии в условиях воздействия вибраций. Вибропрочность характеризует качество конструкции ЭА, т. е. способность противостоять разрушающему воздействию вибрации в нерабочем состоянии и продолжать нормально работать после включения и снятия вибрационных нагрузок. Воздействующие на конструкцию ЭА вибрации характеризуются диапазоном частот и величиной ускорения (в единицах g).

Явление удара в конструкции ЭА возникает в случаях, когда объект, на котором установлена машина, претерпевает быстрое изменение ускорения. Удар характеризуется ускорением, длительностью и числом ударных импульсов. Различают удары одиночные и многократные.

Линейное ускорение характеризуется ускорением (в единицах g) и длительностью воздействия.

Акустический шум, проявляющийся в ЭА, устанавливаемых вблизи работающих двигателей ракет, самолетов, на кораблях, автомобильном и железнодорожном транспорте, характеризуется давлением звука, мощностью колебаний источника звука, силой звука, спектром звуковых частот.

При воздействии вибрации и ударных нагрузок на элементы конструкции ЭА в них возникают статические и динамические деформации, так как любой элемент конструкции представляет собой колебательную систему, имеющую сосредоточенную и распределенную нагрузку и определенный вид закрепления концов.

Следует отметить, что механизм влияния на конструкцию ЭА акустических шумов и ударно-вибрационных нагрузок различен. Акустический шум подвергает механическим нагрузкам практически в равной степени все элементы конструкции. Ударно-вибрационные нагрузки воздействуют на элементы конструкции ЭА через их точки крепления. Поэтому эффективность такого воздействия определяется также положением элементов относительно его направленности. Детали крепления элементов в определенной мере являются своего рода демпферами, ослабляющими действие источника вибраций. Поэтому при прочих равных условиях следует признать действие акустического шума более разрушительным, чем действие ударно-вибрационных нагрузок.

Все более расширяющиеся сферы применения ЭА практически во всех сферах человеческой деятельности ужесточают требования к устойчивости их конструкции воздействию механических факторов. Это иллюстрируется данными табл. 1, в которой приведена динамика роста требований нормативно-технических документов по механическим нагрузкам.

Таблица 1. Уровень требований кЭА

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Воздействия | Уровень требований | | | |
| 1980 г. | 1995 г. | 2000 г. | 2005 г. |
| Вибрации: |  |  |  |  |
| частота, Гц | 5...60 | 5... 1000 | 5...2500 | 5...5000 |
| ускорение, g | 7,5 | 10 | 15 | 40 |
| Линейное ускорение, g | 25 | 75 | 150 | 500 |
| Одиночные удары, g | 75 | 150 | 500 | 1000 |
| Многократные удары, g | 40 | 75 | 150 | 150 |
| Акустические шумы, дБ | — | — | — | 165 |

***Радиационные факторы***

Радиационное воздействие вызывает как немедленную, так и накапливающуюся реакцию элементов, составляющих конструкцию ЭА. Среди существующих видов излучений наибольшую опасность представляют электромагнитные излучения и частицы высоких энергий.

Полный спектр электромагнитных излучений охватывает диапазон длин волн от десятков тысяч метров до тысячных долей нанометра. Наиболее значимое воздействие на ЭА оказывают рентгеновское излучение и гамма-лучи (длина волн менее 10 нм). Эти виды излучения обладают значительной проникающей и ионизирующей способностью и характеризуются дозой и мощностью излучения.

Экспозиционная доза излучения, измеряемая в кулонах на килограмм (Кл/кг), представляет количество излучения, создающее посредством ионизации в одном килограмме воздуха заряд, равный одному кулону.

Мощность экспозиционной дозы характеризует интенсивность излучения и измеряется в амперах на килограмм (А/кг). Она равна экспозиционной дозе излучения в 1 Кл/кг, переданной в течение 1 с. Широкое хождение имеют внесистемные единицы измерения экспозиционной дозы, называемые Рентген, равный 2,5 810\*4 Кл/кг, и мощность экспозиционной дозы — Рентген в секунду (Р/с).

Поглощенная доза излучения, зависящая от параметров источника излучения и особенностей облучаемого вещества, измеряется отношением средней энергии, переданной излучением веществу к его массе. Единицей поглощенной дозы является Гр (Дж/кг), равный поглощенной дозе, соответствующей энергии в 1 Дж, переданной веществу массой 1 кг.

Мощность поглощенной дозы характеризует интенсивность передачи энергии излучения веществу и соответствует приращению поглощенной дозы за единицу времени (Гр/с). Допускается применение внесистемных единиц для описания поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы, называемых рад и, соответственно, рад в секунду (рад/с); 1 рад = 0,01 Гр.

Существенное воздействие на конструкцию ЭА оказывают заряженные частицы: а-частицы, протоны, Р-частицы и нейтроны, обладающие высокой проникающей способностью. Для количественного описания их воздействия применяют физические величины, называемые потоком и плотностью потока частиц.

Поток ионизирующих частиц характеризуется отношением числа частиц, прошедших через данную поверхность за все время облучения, и измеряется в с\*1.

Плотность потока ионизирующих частиц определяется потоком частиц, отнесенному к площади поверхности проникновения излучения, и измеряется в с/м2.

Облучение частицами может вызвать в веществах обратимые, полуобратимые и необратимые явления. Обратимые явления возникают с началом облучения, сохраняются на протяжении его действия и исчезают с его прекрашением. Полуобратимые явления возникают с началом облучения, увеличиваются с его действием и постепенно исчезают после его прекращения. Необратимые явления возникают в процессе воздействия определенной дозы облучения, не исчезают и не уменьшаются после его прекращения.

Наиболее устойчивы к воздействию облучения металлы. Так, интегральный поток нейтронов величиной 1020 частиц/см2 на свойства большинства металлов практически не влияет. Однако следует учитывать, что у большинства металлов при облучении снижается предел текучести в 2—3 раза, ударная вязкость уменьшается, удельное сопротивление возрастает на 20...30%. Наименьшей радиационной стойкостью обладают магнитные материалы и электротехнические стали. Некоторые металлы, например марганец, цинк, молибден и др., после облучения нейтронами сами становятся радиоактивными.

Воздействие излучения на полимеры приводит к разрушению межмолекулярных связей, образованию зернистых структур и микротрещин. В результате полимерные детали теряют эластичность, становятся хрупкими, уменьшается их прочность на разрыв.

При облучении резисторов возникают обратимые и необратимые изменения сопротивления, уровень шума увеличивается, параметр влагостойкости уменьшается. Керамические и проволочные резисторы наиболее устойчивы к действию облучения. Интегральный поток величиной до 1020 частиц/см2 почти не вызывает изменений их параметров. Менее устойчивы к облучению металлопленочные и пленочные углеродистые резисторы. Их параметры заметно ухудшаются при интегральном потоке свыше 10м частиц/см2. Так же чувствительны к облучению и композиционные резисторы.

Облучение конденсаторов ухудшает их электрическую прочность, изменяет емкость и тангенс угла диэлектрических потерь. Причиной этого являются необратимые явления в структуре диэлектрика, механические деформации, ионизация диэлектрика и воздушных промежутков. Наиболее стойкими к облучению являются керамические, стеклоэмалевые и слюдяные конденсаторы. Конденсаторы с органическим диэлектриком (бумажные, полистироловые, лавсановые, фторопластовые и др.) обладают пониженной радиационной стойкостью. Электролитические конденсаторы обладают наиболее низкой стойкостью, в них разгерметизация и разложение электролита наступают при низких дозах облучения.

По сравнению с другими типами электрорадиоэлементов наименее стойкими к облучению являются полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы вследствие возникновения в них обратимых и необратимых явлений. Необратимые дефекты в полупроводниках приводят к потере выпрямительных свойств диодов из-за постепенного увеличения удельного электросопротивления исходного материала. Транзисторы всех типов при облучении теряют усилительные свойства, в них возрастают токи утечки, пробивное напряжение снижается. Их радиационная стойкость составляет 1О12...1О14 нейтронов/см2 при облучении нейтронами и 1О4...1О7 рад при гамма-облучении.

В интегральных микросхемах (МС) при облучении существенно изменяются характеристики вследствие изменения параметров входящих в них резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов. Так же изменяются изолирующие свойства разделительных переходов, возрастают токи утечки, появляются многочисленные паразитные связи между элементами структуры микросхем, что в результате приводит к нарушению их функционирования.

Литература

1. Мальков М.Н., Свитенко В.Н. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы.Консп. лекций, часть I.- Харьков: ХИРЭ,- 2002. – 140с.

2. Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры,Изд.2-е, перераб. и доп. М.:”Энергия”,2007.-656с.

3. Проволочные резисторы. Под ред. М.Т.Железнова, Л.Г.Ширшева.- М.:Энергия.2000.-240с.

4. Справочник конструктора-приборостроителя. В.Л.Соломахо и др.-М:Высш.шк,2008.-271с.

5. Белинский Б.Т., Гондол В.П. и др. Практическое пособие по учебному конструированию РЭА. – К: Вища шк.,2002 – 494с.