

## 4. НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

### 4.1. Типовые схемы отказов объекта

Автоматизированные системы включают в себя технические средства различной природы: дискретные и аналоговые электронные элементы (интегральные схемы – процессоры и модули основной памяти, отдельные радиоэлектронные элементы – резисторы, емкости, цифро-аналоговые преобразователи и др.); механические компоненты (кабели с разъемами, печатающие узлы принтеров, мышь, клавиатура, вентиляторы и т.п.); гальванические элементы. Каждый из компонентов имеет свою специфику относительно свойства безотказности и ремонтпригодности [7, 8].

Различают следующие *виды отказов*:

по характеру проявления отказы подразделяются на детерминированные и случайные. К *детерминированным* отказам относят отказы, связанные с грубыми ошибками, допущенными в конструкторской, технологической или эксплуатационной документации. Они обусловлены незнанием разработчиком реальных условий эксплуатации, ошибками проектирования. Эти отказы проявляются во всех объектах, изготовленных в соответствии с дефектной документацией. Теория надежности технических средств этот вид отказов не изучает. *Случайные* отказы вызваны воздействием случайных факторов – несовершенством технологии изготовления, старением материала, влиянием условий и режимов эксплуатации. Этот вид отказов является основным для типовых объектов. Поэтому он и рассматривается как объект исследования в теории надежности;

по характеру изменения параметра, определяющего надежность объекта до момента отказа, различают внезапные и постепенные отказы. *Внезапные* отказы характеризуется скачкообразным изменением одного или нескольких основных параметров объекта. Этот вид отказов наиболее характерен для электронных цифровых устройств. Примером внезапного отказа может служить нарушение работоспособности микросхемы из-за разряда статического электричества. *Постепенные* отказы характеризуются плавным изменением значений одного или нескольких основных параметров объекта. Эти отказы характерны для электронных аналоговых устройств, механических и гальванических элементов. Примером такого отказа служит постепенная потеря эмиссии электронно-лучевой трубки дисплея;

по характеру устранения отказы делят на самоустраняющиеся (сбои), перемежающиеся, устойчивые. *Сбои* приводят к кратковре-

менной потери работоспособности или искажению информации, восстановление работоспособности объекта происходит само собой (однако восстановление информационного процесса требует выполнения специальных действий). *Перемежающиеся* отказы – многократно возникающие самоустраняющиеся отказы одного и того же характера, обычно проявляются пачками. *Устойчивые* отказы приводят к такому нарушению работоспособности, которое устраняется только путем проведения специальных мероприятий, например, ремонта изделия;

по взаимозависимости отказов отдельных элементов объекта отказы делят на независимые и зависимые. Если отказ элемента не обусловлен повреждениями или отказами других элементов объекта, то такой отказ называют *независимым*. В противном случае отказ называют *зависимым*;

по степени потери работоспособности различают полные и частичные отказы. *Полный* отказ приводит к невозможности использования объекта по назначению. *Частичный* отказ приводит к частичной потере работоспособности;

в зависимости от последствий отказы делят на две группы. К первой группе относят такие отказы – аварии, которые влекут за собой угрозу безопасности людей, значительный материальный или моральный ущерб. Ко второй группе относят отказы, у которых материальный ущерб от невыполнения задания или простоя, одного порядка со стоимостью самого объекта, а также ущерб от которых определяется утратой самого объекта или затратами на его восстановление.

Исследование надежности основано на моделировании конкретных схем возникновения отказов и восстановлений. Типовыми являются следующие схемы возникновения отказов технических средств.

1. Постепенные отказы. В процессе эксплуатации изделий в них накапливаются изменения из-за старения (износа), обусловленных физическими, химическими, механическими процессами, протекающими в объекте. Причины и протекание этих изменений имеют случайный характер. Часть процессов старения и износа является определяющими для возникновения отказов. Такими процессами могут быть появление микротрещин или диффузия разнородных материалов в электронных элементах, появление деформаций, механический износ, коррозия и многие другие. Постепенное, медленное накопление изменений в изделии приводит к уходу рабочих параметров за установленные пределы, что в конечном итоге приводит к отказу.

2. Внезапные отказы. В этой схеме установленные параметры изменяются быстро, что и вызывает скачкообразное изменение состояния отказывающегося элемента. Причинами внезапных отказов могут

быть как процессы старения, так и превышение некоторого допустимого уровня нагрузки или других внешних воздействий, например, рабочей температуры. Вторая группа причин вызывает отказы, которые не зависят от состояния объекта и длительности его эксплуатации. Случайность изменения внешних воздействий приводит к возникновению отказов в случайные моменты времени.

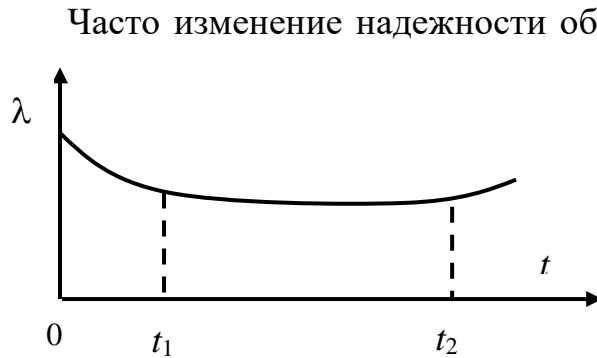


Рис 4.1. Изменение интенсивности потока отказов

Часто изменение надежности объектов в процессе эксплуатации характеризуют кривой интенсивности отказов, имеющей три характерных участка, рис. 4.1. Потоки отказов на этих участках существенно различаются по интенсивности и по характеру.

Интервал времени от 0 до  $t_1$  называется периодом приработки. Он характеризуется повышенной интенсивностью отказов внезапного характера. Их причиной являются конструктивные и производственные дефекты: скрытые дефекты комплектующих изделий, монтажные ошибки, ошибки в настройке оборудования. Эти отказы обнаруживаются в первые часы или сутки работы. В условиях нормальной организации производства изготовитель проводит испытание продукции в заводских условиях или организуется опытная эксплуатация. В любом случае этот интервал желательно пройти до начала нормальной эксплуатации, поэтому в моделировании надежности этот участок не рассматривается. Устранению таких отказов служат и гарантийные обязательства поставщика изделий по замене отказавших устройств и ремонту оборудования. Интенсивность отказов на этом интервале быстро снижается до некоторого, относительно стабильного уровня.

Интервал времени от  $t_1$  до  $t_2$  соответствует основному периоду эксплуатации, который может длиться несколько лет (десятков лет). Этот период соответствует сроку службы изделия. Срок службы обычно определяется экспериментально путем статистических испытаний (ввиду большой продолжительности срока службы испытания проводятся в утяжеленном режиме). В течение основного периода эксплуатации отказы могут быть как внезапными, так и постепенными. Они вызываются процессами старения, случайными нарушениями технологии изготовления, внешними воздействиями. Интенсивность отказов на этом периоде может быть постоянной, возрастая из-за проявления процессов старения или убывать (эффект упрочения кон-

струкции или "выжигания дефектов"). Математические методы теории надежности в основном предназначены для исследования этого периода жизненного цикла изделия.

В качестве справочных данных по надежности указываются значения средней наработки до отказа или интенсивность отказов в типовых режимах работы изделия именно для этого периода эксплуатации. При этом указанная средняя наработка до отказа может превышать срок службы изделия. В этом нет противоречия, так как значение средней наработки характеризует надежность на интервале нормальной эксплуатации изделия и именно его применяют при расчете надежности. Например, производитель жестких дисков указывает среднее время наработки до отказа 1 400 000 часов, что составляет более 150 лет непрерывной эксплуатации. Очевидно, что ресурс изделия существенно меньше, да и изделие будет снято с эксплуатации из-за морального старения существенно раньше.

Начиная с момента  $t_2$ , интенсивность потока отказов существенно возрастает, что связано с исчерпанием ресурса изделия. Сказывается износ электромеханических элементов, старение полупроводниковых материалов, коррозия и т.д. Продолжение эксплуатации изделия на этом периоде нецелесообразно или даже невозможно. Для современных средств автоматизации характерно быстрое моральное старение, которое, как правило, наступает значительно раньше, чем исчерпание ресурса. Поэтому данный период эксплуатации не представляет практического интереса.

## 4.2. Математические законы надежности

Многообразие видов оборудования, режимов их использования и причин возникновения отказов изначально определяет многообразие математических моделей. Поток случайных событий представляет собой последовательность событий, происходящих друг за другом в случайные моменты времени, но подчиняющихся вероятностным закономерностям. Рассмотрим типовые функции распределения, применяемые в теории надежности для описания интервалов времени между событиями [7].

*Экспоненциальное распределение.* Плотность распределения

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t \geq 0, \quad (4.1)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов.

Этот закон распределения предполагает, что на периоде эксплуатации интенсивность отказов является постоянной, что характерно для электронных компонентов. В случае исследования сложного объ-

екта, состоящего из большого количества независимых и примерно одинаковых по степени влияния на надежность объекта нестареющих элементов "мгновенно" заменяемых при отказе (время восстановления пренебрежимо мало по сравнению с наработкой на отказ), время наработки объекта на отказ также хорошо аппроксимируется экспоненциальным законом распределения.

Экспоненциальному (показательному) закону распределения соответствует пуассоновский поток событий, устанавливающий связь между величиной интервала времени  $t$  и вероятностью  $p(i)$  возникновения на этом интервале ровно  $i$  событий

$$p(i) = [(\lambda t)^i / i!] \exp(-\lambda t). \quad (4.2)$$

Поток Пуассона обладает следующими свойствами:

ординарность – появление двух и более событий в один и тот же момент времени является практически невозможным;

стационарность – вероятностные характеристики не изменяются во времени;

отсутствие последствия – вероятность появления события в заданном интервале времени зависит только от длительности интервала, но не зависит от того, когда и сколько было событий до начала этого интервала.

Показательное распределение позволяет оценить надежность снизу, т.е. на худший случай. При других видах законах распределения наработок на отказ и одинаковом среднем времени безотказной работы комплексные показатели надежности ( $k_{Г}$ ,  $k_{ОГ}$ ) будут не хуже. Кроме того, оно позволяет строить модели, достаточно простые в вычислительном плане.

По указанным причинам экспоненциальный закон широко применяется в расчетах надежности сложных объектов. Он также находит применение на начальных стадиях проектирования, когда отсутствуют полные данные о надежности элементов системы.

*Распределение Вейбулла – Гнеденко.* Плотность распределения

$$f(t) = (\beta/\delta)(t/\delta)^{\beta-1} \exp\{-(t/\delta)^\beta\}, \quad \beta > 0, \delta > 0 \quad (4.3)$$

имеет несимметричный вид. Показательное распределение входит в это семейство распределений при  $\beta = 1$ . Наличие двух параметров позволяет более гибко подбирать форму распределения, поэтому любое реальное распределение описывается данной функцией плотности лучше, чем показательным распределением. Распределение данного типа применяется для описания поведения стареющих объектов. Вейбулл предложил это распределение для описания длительности жизни материалов, а Гнеденко доказал его пригодность для описания экстремальных значений. В некоторых случаях применяют распределе-

ние Вейбулла – Гнеденко с тремя параметрами, третий параметр характеризует сдвиг распределения по оси времени.

*Гамма-распределение.* Плотность распределения

$$f(t) = [\lambda^k t^{k-1} / \Gamma(k)] \exp\{-\lambda t\}, \quad k > 0, \lambda > 0, \quad (4.4)$$

где  $\Gamma(k)$  – гамма-функция.

При  $k = 1$  гамма-распределение соответствует экспоненциальному распределению. Если параметр  $k$  представляет целое положительное число, то такое распределение называют *распределением Эрланга*. Рассматриваемые распределения применяются в тех случаях, когда отказ объекта обусловлен появлением точно  $k$  событий, каждое из которых возникает согласно экспоненциальному закону, или для описания стареющих изделий.

Достоверные данные по параметрам законов распределения с низкой интенсивностью отказов могут быть получены экспериментально только после многих сотен тысяч часов их работы. Поэтому испытываются относительно большие партии изделий при крайних значениях температуры и других внешних факторов, что увеличивает интенсивность отказов. Данные по надежности, полученные в утяжеленных условиях, по специальным методикам пересчитываются для нормальных условий эксплуатации.

На практике более 90% ошибок в работе электронных и электромеханических устройств носит характер сбоев или перемежающихся отказов. Они не могут быть воспроизведены стандартными методами испытаний. В процессе эксплуатации пользователи средств автоматизации не всякий раз регистрирует эти ошибки, а предпочитает просто перезагрузить систему. Все это приводит к различиям в сведениях о параметрах потоков таких событий. Перемежающиеся отказы и сбои обычно появляются пачками, поэтому стандартные законы распределения для их описания не подходят. К настоящему времени нет достаточно объективной теории, описывающей возникновение сбоев и перемежающихся отказов. Обычно условно считают, что сбои происходят на несколько порядков чаще, чем отказ объекта.

Кроме рассмотренных законов для описания нестационарных потоков событий применяются распределения с монотонно возрастающей или монотонно убывающей интенсивностью отказов, т.е. с интенсивностью  $\lambda(t)$ , зависящей от времени. При наличии нестационарной функции интенсивности отказов часто используют граничные оценки вероятности безотказной работы.

В современных условиях время восстановления обычно существенно меньше, чем время безотказной работы. Поэтому вид распределения времени восстановления не оказывает существенного влия-

ния на комплексные показатели надежности. Тогда при отсутствии конкретных сведений о распределении времени восстановления применяют экспоненциальный закон или указывают постоянное (нормативное) значение. Такой подход упрощает оценку надежности и обеспечивает приемлемую для инженерной практики точность.

### **4.3. Пути повышения надежности при проектировании и производстве изделий**

Потенциальные значения параметров надежности изделия формируются при разработке и производстве. Проблема обеспечения высокой надежности носит многоаспектный характер, ее решение начинается с формирования требований в техническом задании и продолжается на всех остальных стадиях создания конкретного технического изделия или комплекса технических средств. Кратко рассмотрим пути повышения надежности изделий при их создании.

*Совершенствование электронных схем аппаратуры и ее функциональных узлов.* Требуемые характеристики аппаратуры могут быть получены при различных схемных решениях, различающихся по количеству и типам применяемых элементов. При проектировании следует прорабатывать несколько вариантов схем и выбирать из них то, который обеспечивает лучшую надежность.

*Правильный выбор режимов работы устройства.* Уменьшение нагрузок на компоненты приводит к существенному повышению их надежности. Интенсивность отказов при изменении нагрузок может изменяться в широком диапазоне. Однако следует помнить, что уменьшение нагрузок ниже 10% обычно не приводит к заметному повышению надежности, а выбор режима с нагрузкой, близкой к предельной, резко увеличивает интенсивность сбоев и отказов. Снижение электрической нагрузки эквивалентно увеличению габаритов аналоговых устройств, так как размеры элементов во многом определяются тем, на какие номинальные мощности они рассчитаны. При прочих равных условиях уменьшение амплитуды рабочих напряжений приводит к снижению помехоустойчивости, что особенно характерно при передаче сигналов по электрическим цепям.

Поэтому так называемый "разгон процессоров" приводит к двум нежелательным последствиям. Во-первых, электронные устройства переводятся в режим, близкий к предельному по производительности, что само по себе способствует повышению интенсивности сбоев и перемежающихся отказов. Во-вторых, увеличивается потребляемая устройствами мощность (потребляемая мощность цифровых

устройств пропорциональна квадрату частоты переключения), следовательно, возрастает нагрев элементов. Такой нагрев снижает ресурс изделия и может привести к полному отказу.

*Создание схем, мало чувствительных к изменениям параметров элементов.* Построение таких схем основывается на использовании отрицательных обратных связей и устройств автоматического регулирования. Большое значение имеет выбор номинальных режимов и допусков на параметры элементов и узлов. Эта задача решается при проектировании теоретически и экспериментально. На практике экспериментальная отработка осуществляется методом граничных испытаний. Метод основан на искусственном изменении параметров элементов в работающем макете аппаратуры и определении запаса устойчивости системы. Это позволяет установить оптимальные номинальные значения параметров и наложить ограничения на их разброс. Такой метод целесообразно применять при разработке унифицированных узлов, выпускаемых серийно, так как проведение испытаний требует больших временных и материальных затрат.

*Включение в состав изделия средств контроля работоспособности и диагностики отказов.* Наличие таких средств повышает ремонтпригодность за счет сокращения времени на обнаружение и устранение отказов. Следует стремиться, чтобы отказы средств контроля не приводили к нарушению работоспособности основной аппаратуры.

*Применение стандартных и унифицированных элементов.* Стандартные компоненты обычно разрабатываются достаточно тщательно. Они проходят систему специальных испытаний и выпускаются предприятиями по стабильным технологическим процессам, подвергаются выходному контролю. Это обеспечивает их высокую безотказность. Однако практически невозможно ограничиться применением в аппаратуре только стандартных компонентов. Поэтому необходимо уделять особое внимание надежности нестандартных элементов, являющихся обычно основным источником отказов.

*Размещение элементов, обеспечивающее благоприятные условия работы.* Необходимо обеспечить хорошие условия отвода тепла от элементов, уменьшение влияния тепловых потоков и электромагнитных излучений одних элементов на другие. Отвод тепла обеспечивают радиаторы, системы принудительного воздушного или жидкостного охлаждения. Снижение паразитных электромагнитных наводок достигается экранировкой элементов, применением качественного заземления аппаратуры, продуманной разводкой кабелей и соединительных линий (в том числе, соединений на печатных платах), применением специальных типов кабелей, снижением амплитуды сигналов.



*Улучшение доступа к элементам.* Для повышения ремонтпригодности при конструировании аппаратуры должен обеспечиваться легкий доступ к элементам и такое их надежное крепление, которое позволяет быстро заменить один элемент другим. Монтажная схема и система обозначения элементов должны обеспечить условия для поиска отказавшего элемента.

Практика показывает, что значительная доля от общего количества отказов, возникающих в процессе эксплуатации, обусловлена неудачными конструкторскими решениями. По этой причине для повышения надежности изделий важную роль играет тщательный анализ причин отказов при эксплуатации, своевременная и полная информация о них разработчиков и изготовителей.

*Технология производства.* Все стадии технологического процесса от получения материалов и комплектующих элементов до приема готовой продукции влияют на качество продукции, в том числе, и на надежность. Повышению надежности в значительной мере способствует: входной контроль качества комплектующих элементов; автоматизация технологических процессов изготовления, так как позволяет уменьшить ошибки производственного персонала; испытания и контроль показателей надежности выпускаемой продукции.

Повышению надежности способствует тщательная отработка эксплуатационной документации. Техническая документация обычно включает: паспорт, техническое описание, руководство пользователя (инструкция по эксплуатации), формуляр (гарантийный талон).

В паспорте указываются: назначение изделия, технические характеристики и параметры, условия применения, хранения и транспортировки, комплектация. Техническое описание содержит описание устройства, а также может включать электрические схемы, диаграммы напряжения и другие сведения. Руководство пользователя помимо общих правил применения аппаратуры, должно содержать указания по поиску и устранению неисправностей, по проведению профилактических работ, замене расходных материалов, указания по технике безопасности. Гарантийный талон содержит сведения об изготовителе, времени и месте изготовления, гарантийных обязательствах, времени и месте продажи, адресах гарантийных мастерских и консультационных пунктов.

*Внесение избыточности.* Избыточность позволяет обнаруживать отказы оборудования и искажения информации, проводить восстановление без прекращения функционирования системы.

*Наличие системы контроля и восстановления информационного процесса.* Такая система включает аппаратные, программные и ин-

формационные средства. Она позволяет обнаруживать отказы оборудования и нарушения информационного процесса, осуществлять диагностику отказов (нарушений), обеспечивать поддержку восстановления АСОИУ и ее отдельных объектов. Кроме того, на нее целесообразно возложить регистрацию и накопление статистических данных по работе АСОИУ с целью последующего анализа и принятия мер по повышению надежности функционирования объектов.

Виды избыточности и функции системы контроля будут рассмотрены далее более подробно.

#### **4.4. Факторы, влияющие на надежность в процессе эксплуатации**

Надежность работы изделия в первую очередь определяется тем уровнем технической надежности, который достигнут при разработке и производстве. Но существенное влияние на надежность оказывают и условия эксплуатации. Поэтому при организации эксплуатации средств автоматизации необходимо оценить возможные неблагоприятные воздействия и принять меры к ослаблению их влияния.

Все эксплуатационные факторы можно подразделить на объективные и субъективные. К объективным факторам относят влияние окружающей среды, внешние воздействия на технику.

На надежность влияют такие факторы окружающей среды как температура, влажность, солнечная радиация, загрязненность атмосферы и биологической среды.

*Влияние температуры.* Неблагоприятное влияние оказывает как высокая, так и низкая температура. Повышенная температура ведет к увеличению интенсивности отказов, ускоряет процессы старения элементов, изоляционных материалов. При низких температурах становятся хрупкими многие изоляционные и заливочные материалы, густеют смазки, снижается эффективная емкость аккумуляторов, ускоряются процессы разрушения припоя и нарушается прочность паек, ослабляются крепления аппаратуры и ее деталей. Колебания температуры ведут к колебаниям значений электрических параметров аппаратуры. В реальных условиях эксплуатации на надежность технических средств существенное влияние оказывают не медленные сезонные колебания, а более быстрые суточные перепады температуры или перепады, связанные с перемещением оборудования.

При резких понижениях температуры на поверхности аппаратуры и в ее внутренних частях конденсируется влага. Она проникает в поры и трещины материалов, в зазоры между деталями. При замерза-

нии вода увеличивается в объеме, увеличивая размер трещин. Вследствие разности коэффициентов температурного расширения различных материалов при изменении температуры могут нарушаться сопряжения материалов и возникать трещины. В результате герметичность устройств нарушается. Все это ускоряет процессы старения и разрушения материалов, вызывает нестабильность электрических характеристик оборудования. Переносимая или перевозимая аппаратура должна разрабатываться с учетом изменения температуры в широком диапазоне. При эксплуатации целесообразно стремиться к созданию благоприятных температурных условий применения и хранения.

Промерзшая аппаратура при резком повышении температуры окружающей среды покрывается слоем влаги. Влага должна быть удалена перед включением, или необходимо выдержать аппаратуру до ее полного просыхания. Это предотвратит возможные повреждения – короткие замыкания в цепях питания, пробой электронных схем. Кабели при низкой температуре требуют осторожного обращения, так как из-за ухудшения эластичности оболочки при резких изгибах и скручиваниях в ней образуются трещины, через которые в последствии будет проникать влага.

Загустевание смазки при низкой температуре может привести к быстрому износу трущихся деталей, а иногда и к их поломке.

Нагрев записываемых компакт-дисков до  $100^{\circ}\text{C}$  приводит к искажению информации. У некоторых компакт-дисков при перепадах температуры от  $-20^{\circ}\text{C}$  до комнатной появляются трещины в защитном слое, он отслаивается от подложки.

*Влияние влажности.* Из всех эксплуатационных факторов, относящихся к воздействиям окружающей среды, влияние влажности наиболее опасно. Повышенная влажность приводит к изменению электрических характеристик оборудования и снижению его эксплуатационной надежности. Она оказывает влияние при использовании оборудования и при хранении. Атмосферный воздух всегда содержит влагу в виде мельчайших капелек воды. Ее количество ограничено и не может превышать влагоемкость  $E$  воздуха при данной температуре. При понижении температуры влагоемкость воздуха уменьшается, и влага выпадает в виде конденсата (росы). Значения влагоемкости при различной температуре приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Температура, С	-10	0	10	20	30	40
Влагоемкость, Г/м <sup>3</sup>	2,15	4,84	9,4	17,3	28,9	50,6

Относительная влажность воздуха измеряется с помощью психрометра и гигрометра.

На оборудование воздействие оказывает не абсолютная, а относительная влажность, которая характеризует степень насыщения воздуха парами воды и определяется отношением влагосодержания воздуха  $m$  к его влагоемкости, выраженным в процентах  $v = (m/E)100\%$ .

Зная относительную влажность и температуру легко определить и влагосодержание воздуха. С изменением температуры изменяется значение относительной влажности воздуха. С понижением температуры относительная влажность возрастает, а при существенном понижении содержание влаги может превысить его влагоемкость и излишек влаги выпадет в виде конденсата. Относительная влажность в пределах 45 – 75% считается нормальной. При меньших значениях воздух считается сухим, а при больших – влажным. В районах с влажным климатом относительная влажность воздуха составляет 90% и более процентов. При этом даже небольшое понижение температуры, например, ночью, вызывает появление конденсата.

В отапливаемых помещениях относительная влажность воздуха значительно ниже, чем снаружи, так как воздух, поступающий в помещение, прогревается и его относительная влажность уменьшается.

Влага оказывает вредное влияние на металлы и изоляционные материалы. Особое место занимает коррозия металлов – разрушение вследствие химической или электрохимической реакции. Процесс коррозии ускоряется при загрязнении воздуха химически активными веществами промышленного происхождения – углекислым и сернистым газом, солями и кислотами. Особенно интенсивным становится процесс коррозии при превышении относительной влажности некоторого уровня. Например, для атмосферы с преобладанием углекислого газа критическая влажность для меди и нелегированной стали 65 – 70%. Коррозия вызывает негативные последствия: нарушения контактов, увеличение переходного сопротивления разъемов, снижения сопротивления изоляции электрических цепей и т.п. Для предотвращения коррозии применяют лакокрасочные покрытия, наносят слои стойких к коррозии материалов, применяют защитные покрытия, при хранении используют ингибиторы (вещества, поглощающие влагу).

Воздействие влаги на изоляционные материалы ускоряет процессы, приводящие к изменению свойств материалов, их старению и разрушению. При относительной влажности 60 – 70% на поверхности всех тел появляется тончайший слой воды, толщина которого увеличивается с ростом относительной влажности, и при относительной влажности 100% достигает нескольких десятков микрон. Вещества, обладающие гигроскопичностью, поглощают содержащуюся в воздухе влагу. Адсорбция влаги различными материалами неодинакова.

Толщина водяной пленки на поверхности зависит от свойств материала. Она минимальна у материалов с нейтральными молекулами (полиэтилен, полистирол, фторопласт) и сравнительно велика у таких материалов как стекло, керамика, имеющих ионное строение (сила притяжения полярных молекул воды к ионам значительно больше, чем к нейтральным молекулам).

Вследствие относительно хорошей проводимости воды, особенно при наличии примесей, образующих электролиты, резко снижается сопротивление изоляции. Уменьшение сопротивления изоляции зависит от относительной влажности воздуха. При увлажнении изменяется емкость конденсаторов, паразитных емкостей трансформаторов, монтажа, возникают токи утечки, а наличие электрической нагрузки вызывает электролиз, приводящий к разрушению материалов.

Достаточно надежную, но не полную защиту аппаратуры от влияния повышенной влажности дает герметизация. При эксплуатации негерметизированной аппаратуры необходимо следить за соблюдением нормальной влажности, а при попадании влаги обеспечивать просушку аппаратуры перед включением электропитания.

Недостаток влаги в помещении приводит к накоплению статического электричества на отдельных предметах, на персонале и его одежде. А прикосновение пользователя к оборудованию может произвести электрический разряд, вызывающий болезненные ощущения у пользователя, сбой и отказы оборудования.

*Солнечная радиация.* Длительное облучение оборудования солнечным светом оказывает вредное влияние за счет повышения температуры, вследствие химического разложения и усиления старения материалов органического происхождения (пластмасс, красителей и т.п.). Под действием ультрафиолетового излучения растрескиваются лакокрасочные покрытия, утрачиваются защитные свойства, теряет эластичность и растрескивается резина, ухудшаются свойства синтетических материалов. В результате сокращается срок службы кабелей, усиливается процесс коррозии металлов.

Солнечные лучи сокращают долговечность активного слоя и сохранность информации на записываемых и перезаписываемых компакт-дисках. Уровень ошибок зависит от длительности экспозиции на солнце конкретного материала активного слоя. Уже после нескольких часов освещения солнцем наблюдается заметное повышение уровня ошибок у такого материала активного слоя записываемых компакт-дисков как Cyanine. Другие материалы, в частности, AdvCyanine, допускают облучение солнечным светом в течение более длительного времени – до 70 часов без заметного ухудшения качества.

*Атмосферное давление.* При подъеме до 1000 м над уровнем моря атмосферное давление изменяется незначительно. Изменение давления существенно влияет на функционирование некоторых механических устройств, например, жестких магнитных дисков, в которых головки чтения-записи плавают на воздушной подушке. Падение давления до 0,1 – 0,3 от нормального снижает пробивное напряжение воздушных промежутков. В разреженной атмосфере ухудшается отвод тепла от элементов аппаратуры. Резкие перепады давления могут нарушить герметичность блоков.

*Загрязненность атмосферы.* В процессе эксплуатации частицы пыли проникают под кожух аппаратуры и оседают на монтаже и элементах. Вследствие абразивного действия пыли ускоряется износ и нарушается работа изделий с движущимися деталями. Кроме того, пыль обладает повышенной гигроскопичностью. Поэтому слой пыли, покрывающий изоляционные материалы, при увлажнении резко снижает сопротивление изоляции и может служить причиной электрического пробоя, а на платах печатного монтажа возможно заметное шунтирование электрических цепей. Наличие пыли уменьшает отвод тепла. Органическая пыль является питательной средой грибковых образований. Полностью предотвратить попадание пыли внутрь корпуса оборудования не удастся. Поэтому чистка оборудования является непременным элементом технического обслуживания.

*Биологическая среда.* К биологической среде относят грибковые образования (плесень), насекомых, грызунов. Наибольший вред аппаратуре наносит плесень, которая представляет собой грибковые образования. Питательной средой для плесени служат все содержащие углеводы органические вещества: резина, кожа, дерево, канифоль и т.п. Плесень развивается на поверхности металла, стекла, керамике, при этом питательной средой служит слой органической пыли. Благоприятной средой развития плесени служит сочетание повышенной влажности (больше 85%) и тепла (25 – 30°C). При относительной влажности менее 65% развитие плесени прекращается, однако она не погибает и при повышении влажности начинает развиваться.

Плесень впитывает из воздуха и удерживает большое количество влаги, образуя на материале водяную пленку, в процессе жизнедеятельности выделяет органические кислоты. Это влечет коррозию металлов и разрушение изоляционных материалов. Выделение плесени приводит к помутнению стекла и ухудшению его оптических свойств. Из-за плесени возможно нарушение контактов, снижение сопротивления, пробой изоляции. Грызуны могут повредить кабельные систе-

мы, изоляцию проводов, а насекомые – загрязнить контакты в разъемах, вызвать короткие замыкания в электрических схемах.

К условиям применения относят качество электропитания, механические нагрузки, режимы использования, старение и износ.

*Качество электропитания* характеризуется параметрами напряжения и их стабильностью во времени. Государственный стандарт определяет следующие параметры электрической сети: напряжение  $220 \text{ В} \pm 10 \%$ ; частота  $50 \text{ Гц} \pm 1 \text{ Гц}$ ; коэффициент нелинейных искажений формы напряжения  $< 8 \%$  при длительных искажениях и  $< 12\%$  при кратковременных искажениях [1]. Теоретически напряжение должно иметь правильную синусоидальную форму, но в сети оно искажено наличием реактивных нагрузок, присутствием помех, подключением или отключением мощных потребителей электроэнергии.

Нестабильность напряжения связана: с понижением или повышением напряжения свыше предусмотренных пределов; пропаданием напряжения; скачками напряжения; высокочастотными помехами. Явление понижения или повышения напряжения в сети обусловлено тем, что силовые сети являются трехфазными, а для питания бытовых потребителей применяется одна фаза. В этом случае перекос нагрузок в фазах (например, короткое замыкание в одной из фаз, включение или выключение мощных однофазных потребителей электроэнергии) приводит к повышению напряжений в одних фазах и понижению в других за счет так называемого "смещения нуля". Импульсные помехи связаны с молниями и авариями на электросетях. Высокочастотные помехи – с работой сварочных аппаратов, электрических печей, тиристорных регуляторов и т.п. Нестабильность приводит к сбоям в работе электронных средств, потере и искажению информации, снижению ресурса оборудования, отказам устройств.

Однофазное электропитание (к аппаратуре подключаются два провода – фазы и нулевой, но отсутствует провод заземления) может приводить к появлению разности потенциалов между корпусами различных устройств. Разность потенциалов способна достигать несколько десятков вольт, она будет прикладываться к информационным линиям, соединяющим устройства. Эта разность приводит к искажению уровней сигналов, к повреждению электронных схем.

Для защиты от нарушений находят применение три типа источников бесперебойного питания (ИБП). Наиболее простой ИБП с переключением (off line или stand-by UPS) позволяет сохранить данные и корректно завершить работу компьютера при пропадании электропитания. Однако относительно большое время переключения (2 – 10 мс) на встроенную в ИБП аккумуляторную батарею все же не гарантирует

полную сохранность данных. Интерактивные ИБП (line–interactive) обеспечивают стабильное значение напряжения, а при его пропадании или сильном искажении – переход на питание от батареи. ИБП с двойным преобразованием напряжения (on–line UPS или ИБП с активной батареей) преобразуют входное переменное напряжение в постоянное, затем оно преобразуется в высокочастотное и поступает на выход ИБП. В отличие от первых двух типов в этих ИБП батареи работают постоянно, сглаживая все недостатки сети электропитания.

*Механические нагрузки.* Проявляются в виде динамических воздействий – ударов и вибраций, которые испытывает изделие при функционировании, а также при транспортировании или при работе в подвижных объектах. Удары и вибрации приводят к повреждению монтажа, органов управления, к нарушению контактов в разъемах, порче поверхностей магнитных дисков.

Динамические воздействия количественно оцениваются величиной создаваемого ими ускорения, которое представляют в единицах ускорения силы тяжести  $h = v^2 / (2sg)$ , где  $v$  – скорость в момент удара,  $m/c$ ;  $s$  – величина упругих или остаточных деформаций, ударяющихся предметов,  $m$ ;  $g$  – ускорение силы тяжести,  $9,8 m/c^2$ . Наибольшую опасность представляют удары для изделий с движущимися механическими частями (для работающих жестких магнитных дисков). Вибрация вызывает динамические воздействия, аналогичные ударам, может приводить к нарушению крепления деталей, контактов в разъемах, перетиранию изоляции кабелей и др. Наиболее опасна длительная вибрация. Защита от динамических воздействий осуществляется с помощью амортизаторов, правильным выбором конструкции, исключая возникновение резонансных явлений.

*Проникающая радиация.* Она воздействует на электронные устройства при больших уровнях излучения. Рентгеновское излучение,  $\alpha$  и  $\beta$  частицы эффективно поглощаются металлическими экранами (кожухом аппаратуры). Более опасно гамма-излучение. К облучению чувствительны полимеры (уменьшается сопротивление, изменяется диэлектрическая проницаемость, снижается напряжение пробоя). Материалы неорганического происхождения менее чувствительны к радиоактивному облучению. Радиационная стойкость полупроводников ниже, чем у других неорганических материалов.

Каждый производитель указывает свои требования к условиям хранения, транспортирования и применения технических средств. Типовые условия обычно характеризуются следующими значениями параметров внешней среды.



Хранение аппаратуры должно осуществляться в заводской упаковке в сухом отапливаемом помещении при температуре от +5° до +40°С с относительной влажностью воздуха 40 – 80 % и атмосферным давлением 680 – 800 мм рт. ст. В помещении должны отсутствовать пары химически активных веществ, способных вызвать коррозию.

Транспортировка производится любым транспортом в упаковке с размещением узлов аппаратуры в отдельных багажных отсеках.. При этом должны соблюдаться следующие условия: температура от –50° до +50°С, относительная влажность – до 98 %, атмосферное давление 630 – 800 мм рт. ст. Во время транспортировки должны быть исключены ударные воздействия на аппаратуру.

В рабочем помещении необходимо поддерживать температуру от +5° до +40°С, относительную влажность от 60 % до 80 %, атмосферное давление – 630 – 800 мм рт. ст. В помещении не должно быть пыли, источников радиоизлучений. Изделия не должны подвергаться прямому солнечному свету, резким колебаниям температуры, напряжение электропитания должно быть стабильным.