

3. Обеспечение надежной работы конструкции ЭВМ

3.1. Факторы, влияющие на работоспособность ЭВМ

Условия эксплуатации ЭВМ и систем характеризуются комплексом внешних воздействующих факторов, которые принято разделять на климатические, механические и радиационные.

3.1.1. Климатические факторы

К климатическим факторам относят – изменение температуры и влажности окружающей среды; тепловой удар; изменение атмосферного давления; наличие движущихся потоков пыли, песка; присутствие химически активных веществ в атмосфере; наличие солнечного излучения; наличие грибковых образований, насекомых, грызунов; наличие взрывоопасной и воспламеняющейся атмосферы; наличие дождя, брызг, озона и т.п.

Работоспособность ЭВМ и систем определяется допустимым температурным диапазоном работы, внутри которого ЭВМ должна сохранить работоспособность как во включенном, так и в выключенном состоянии.

Как правило, конструкцию ЭВМ проектируют таким образом, чтобы в выключенном состоянии ЭВМ выдерживала и сохраняла свою работоспособность в большем диапазоне температур (называемых предельными), чем допустимый диапазон работы. Это делается для исключения выхода из строя ЭВМ при транспортировке и хранении. Предельные температуры характеризуют тепло- и холодопрочность конструкции ЭВМ.

Отклонение температуры от указанных диапазонов может привести к необратимым структурным изменениям компонентов: повышенная температура снижает диэлектрические свойства материалов, ускоряет

коррозию металлов, при пониженной температуре повышается хрупкость материалов, затвердевают резиновые детали и т.п.

Повышение температуры узлов и блоков ЭВМ связано с выделением тепла при работе микроэлектронных компонентов и/или с повышением температуры атмосферы, понижение температуры узлов и блоков ЭВМ обычно связано с понижением атмосферной температуры.

Нормальными климатическими условиями эксплуатации ЭВМ считаются: температура окружающего воздуха $(293 \pm 5)^{\circ}\text{K}$, относительная влажность $(60 \pm 15)\%$, атмосферное давление $84 \dots 107$ кПа ($630 \dots 800$ мм рт. ст.), отсутствие активных веществ в атмосфере.

Тепловой удар – резкое (десятки $^{\circ}\text{C}$) и быстрое (минуты) изменение температуры окружающей среды. Наиболее сильно влияет на элементы конструкции, в которых есть механические напряжения, вызывая образование в них трещин.

Атмосферное давление зависит от высоты над уровнем моря и погодных условий. Если корпус машины герметизирован, атмосферное давление не оказывает влияние на работу ЭВМ.

Одним из наиболее значимых климатических факторов является *влажность*. Высокая влажность способствует коррозии металлических деталей, старению неметаллических, изменению электроизоляционных характеристик, развитию грибковых образований. Вода, содержащаяся в атмосфере, часто содержит активные вещества. *Капли дождя и брызги* также могут вызвать вибрацию.

К *активным веществам в атмосфере* относятся хлористые соли, пары кислот, щелочей и т.п. Их содержание в атмосфере больше в прибрежных и промышленных районах.

Находящиеся в атмосфере *пыль и песок* могут содержать активные вещества, вызывать вибрацию, способствовать утечке зарядов и вызывать пробой.

Грибковые образования в процессе своей жизнедеятельности выделяют различные кислоты и другие химически активные вещества, изменяющие характеристики многих материалов.

3.1.2. Механические факторы

К механическим факторам относят – воздействие вибрации, ударов, линейного ускорения, акустического шума и т.п.

Вибрации возникают при работе и при транспортировке ЭВМ. Они характеризуются диапазоном частот и величиной ускорения. Наиболее опасны колебания, частота которых близка к собственной частоте колебаний узлов и конструкций ЭВМ (могут вызвать резонанс).

Способность ЭВМ противостоять влиянию вибраций в выключенном состоянии характеризуется *вибропрочностью*.

Виброустойчивость – это способность ЭВМ выполнять заданные функции во включенном состоянии.

Удар – резкое изменение ускорения. Это явление характеризуется ускорением, длительностью и числом ударных импульсов. Так, по числу импульсов различают удары одиночные и многократные.

Линейное ускорение характеризуется величиной ускорения и длительностью, оно менее опасно для ЭВМ, чем вибрации и удары.

Акустический шум характеризуется давлением звука, мощностью колебаний источника звука, силой звука, спектром звуковых частот.

Акустический шум подвергает механическим нагрузкам практически все элементы конструкции ЭВМ в равной мере, тогда как ударно-вибрационные нагрузки воздействуют на элементы конструкции через их точки крепления.

Все рассмотренные механические факторы вызывают статические и динамические деформации элементов конструкции ЭВМ.

3.1.3. Радиационные факторы

Радиационные факторы – космическая радиация, ядерная радиация, различные виды излучения и др.

Облучение может вызывать в материалах конструкции ЭВМ обратимые, полужобратимые и необратимые явления.

Обратимые явления возникают с началом облучения, сохраняются на протяжении его действия, исчезают с его прекращением.

Полужобратимые – возникают с началом облучения, увеличиваются по мере его действия, постепенно исчезают после его прекращения.

Необратимые – возникают после определенной дозы облучения, не исчезают и не уменьшаются после его прекращения.

Наиболее значимое воздействие на ЭВМ оказывают рентгеновское и гамма-излучения. Наиболее устойчивы к облучению металлические детали, наименее – полупроводниковые микросхемы. В металлах под воздействием облучения снижается предел текучести, ударная вязкость, возрастает удельное сопротивление. В полимерах происходит разрушение межмолекулярных связей, образование зернистых структур и микротрещин.

Некоторые из этих факторов действуют независимо друг от друга, некоторые – совместно с другими факторами. Например, наличие в атмосфере движущихся потоков песка приводит к возникновению вибрации в конструкции.

3.2. Защита конструкций ЭВМ от внешних воздействий

Одним из факторов обеспечения надежной работы ЭВМ (системы) является защита конструкции от внешних воздействий.

3.2.1. Защита конструкций ЭВМ от температурных воздействий

ИМС и ЭРЭ функционируют в строго ограниченных температурных диапазонах. Защита конструкций ЭВМ от температурных воздействий направлена на обеспечение *нормального теплового режима работы* ЭВМ, т.е. режима, при котором при изменении в определенных пределах внешних температурных воздействий обеспечивается изменение параметров и характеристик конструкции и материалов в пределах, указанных в технических условиях.

Обеспечение нормального теплового режима работы ЭВМ приводит к усложнению ее конструкции, увеличению габаритов и массы, введению дополнительного оборудования, дополнительным затратам электричества.

При низких температурах задача обеспечения работоспособности стационарных ЭВМ и систем решается путем нагрева помещения, в котором они установлены, для бортовых ЭВМ нагревательные элементы могут быть встроены непосредственно в конструкцию. При этом надо учитывать, что при интенсивном нагреве холодного воздуха внутри прибора пары воды конденсируются на еще холодных поверхностях конструкции. При дальнейшем нагреве конструкции влага испаряется. Конденсация оказывается невозможной, если нагрев происходит медленно. При достижении внутри изделия нормальной температуры приступают к его эксплуатации. Далее из-за саморазогрева температура внутри ЭВМ будет повышаться и может возникнуть необходимость в охлаждении.

Чаще всего конструктору приходится решать именно задачу отвода теплоты.

При расчете теплового режима аппаратуры оценивают количество теплоты, удаляемой от всех нагреваемых поверхностей изделия. Теплоотвод (*передача теплоты*) от нагретой аппаратуры в окружающую среду осуществляется кондукцией, конвекцией и излучением.

Процесс передачи теплоты кондукцией (теплопроводностью) объясняется обменом кинетической энергией между молекулами вещества и диффузией электронов. Оба эти явления наблюдаются в том случае, когда температура вещества в различных точках различна или когда контактируют два объекта с различной степенью нагрева. Доля теплоотвода кондукцией повышается с увеличением плотности компоновки. Количество теплоты Q_k (Вт), передаваемое в статическом режиме кондукцией может быть вычислено по следующей формуле:

$$Q_k = \alpha_m \cdot S \cdot \Delta t / l,$$

где α_m – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C); S – площадь, через которую проходит тепловой поток, м²; l – длина пути передачи теплоты, м; Δt – разность температур между окружающей средой и конструкцией, °C.

Отношение $G = \alpha_m \cdot S / l$ называется тепловой проводимостью, а обратная ей величина $R = l / (\alpha_m \cdot S)$ – тепловым сопротивлением.

Для улучшения условий отвода теплоты от тепловыделяющих элементов в конструкции применяют тепловые разъемы, теплоотводящие шины, печатные платы на металлической основе и т.п.

При теплоотводе конвекцией используют естественное и принудительное воздушное и водо-воздушное охлаждение.

Естественное воздушное охлаждение является самым простым, используется в бытовой аппаратуре с плотностью тепловых потоков от охлаждаемых поверхностей не более 0.05 Вт/см².

Метод естественного охлаждения требует повышенного внимания проектировщиков к компоновке конструкции изделия, т.к. необходимо обеспечить равномерное распределение выделяемой мощности по всему объему изделия. Компоненты и узлы с большим тепловыделением располагают в верхней части и вблизи стенок корпуса, а критичные к перегреву компоненты – в нижней части. При компоновке аппаратуры

необходимо избегать так называемых «ловушек тепла», т.е. областей, в которых отсутствуют конвективные потоки воздуха.

При *принудительном воздушном охлаждении* автономными вентиляторами применяются приточная, вытяжная и приточно-вытяжная системы вентиляции. В приточной схеме вентилятор засасывает охлаждающий воздух внутрь изделия, в вытяжной – выталкивает нагретый воздух из изделия, в приточно-вытяжной схеме вентиляторы стоят и на входе, и на выходе воздуха из изделия. Работа вентилятора в приточной схеме происходит в более благоприятных условиях (при пониженной температуре и большей плотности воздуха), чем в вытяжной системе, однако нагнетаемый воздух может частично уходить через отверстия в корпусе аппаратуры. Приточно-вытяжная схема позволяет увеличить напор охлаждающего воздуха.

Водо-воздушная система охлаждения применяется для изделий с высокими плотностями компоновки элементов. Отвод теплоты от устройств осуществляется одновременно воздухом, поступающим от вентиляторов, и жидким хладагентом, подающимся по трубам к специальным охладителям.

Количество теплоты Q (Вт), удаляемое от нагретой поверхности конвекцией:

$$Q = \alpha_K \cdot S \cdot \Delta t,$$

где S – площадь поверхности, м^2 ; Δt – перегрев, $^{\circ}\text{C}$; α_K – коэффициент теплообмена конвекцией, зависящий от многих факторов (температуры участвующей в конвективном теплообмене среды, коэффициента теплоотдачи, скорости движения охлаждающего газа или жидкости, конфигурации охлаждаемого тела и др.).

Теплоотвод излучением эффективен для внешних поверхностей корпусов аппаратуры. При высокой плотности компоновки аппаратуры

эффект удаления теплоты излучением практически отсутствует, так как близко расположенные модули только нагревают друг друга.

Количество теплоты Q (Вт), отводимой от нагретого тела в единицу времени с помощью излучения, можно оценить по следующей формуле:

$$Q_{\text{и}} = \alpha_{\text{и}} \cdot S \cdot \Delta t,$$

где $\alpha_{\text{и}}$ – коэффициент теплообмена излучением, Вт/(м²·°C); S – площадь излучающей поверхности, м²; Δt – перегрев излучающей поверхности относительно окружающей среды, °C.

Детали конструкции, как правило, имеют достаточно сложную форму и неравномерный нагрев, что усложняет расчет теплового режима. При построении тепловой модели упрощают элементы конструкции и идеализируют протекающие в них тепловые процессы. Одним из способов упрощения является замена нагретой зоны элемента конструкции ее эквивалентом с простой геометрической формой (например, прямоугольным параллелепипедом), с одинаковой среднеповерхностной температурой и равномерно распределенным источником тепловой энергии. Такая замена выполняется на основе принципа усреднения. Идеализация тепловых процессов заключается в том, что учитываются только основные способы переноса тепловой энергии, вносящие наибольший вклад в тепловой обмен. Упрощение элементов конструкции и идеализация тепловых процессов должны быть таковы, чтобы обеспечивалась адекватность модели

3.2.2. Защита ЭВМ от воздействия влажности

Как правило, от прямого воздействия воды ЭВМ не защищена и не должна эксплуатироваться при таких условиях. Конструкции ЭВМ защищают от воздействия содержащихся в атмосфере водяных паров.

Защита аппаратуры от воздействия влажности осуществляется использованием соответствующих материалов и покрытий; усиленной

вентиляцией сухим воздухом; поддержанием внутри изделия более высокой, чем в окружающей среде, температуры; герметизацией корпуса.

Для защиты металлических конструкций от коррозии на них наносятся *защитные покрытия*. Применяются металлические, химические и лакокрасочные покрытия.

При высокой влажности коррозия протекает более интенсивно при контактировании металлов с различными электрохимическими потенциалами. При использовании *металлических покрытий* материал покрытия образует с материалом защищаемой детали гальваническую пару и, если целостность такого покрытия нарушается, то происходит коррозия и разрушение либо материала детали, либо материала покрытия. В зависимости от полярности электрохимического потенциала различают покрытия анодные (отрицательный потенциал покрытия по отношению к потенциалу основного металла детали) и катодные (положительный потенциал покрытия по отношению к потенциалу основного металла детали). При анодном покрытии будет разрушаться само покрытие, а основной материал детали разрушаться не будет. При катодном покрытии – наоборот.

Химические покрытия получают методами оксидирования (получение оксидной пленки на стали, алюминии и его сплавах), анодирования (нанесение покрытия на алюминий и его сплавы электрохимическим способом), фосфатирования (на стали), азотирования. Химические покрытия менее стойки по сравнению с металлическими.

Лакокрасочные покрытия имеют низкую механическую прочность и термостойкость.

Наиболее эффективным способом защиты ЭВМ от воздействия влаги является *полная герметизация* блоков и шкафов путем помещения их в герметичный кожух. При данном способе также достигается защита аппаратуры от перепадов атмосферного давления и от воздействия пыли и

вредных веществ из окружающей среды. Проектировщик должен дополнительно разработать способы герметизации внешних электрических соединений, элементов управления и индикации. При большой разнице давлений внутри и снаружи корпуса его стенки должны противостоять значительным усилиям. Этот метод защиты самый дорогой и его применяют только в случае необходимости.

Значительно чаще применяют герметизацию модулей нулевого и первого уровней.

Модули нулевого уровня конструктивной иерархии ЭВМ (ИМС, ЭРЭ, а также микросборки) обычно либо помещают в герметичные корпуса, либо применяют бескорпусные методы герметизации (обволакивание, заливку или опрессовку различными полимерными материалами). Модули первого уровня конструктивной иерархии ЭВМ (печатные платы, соединительные кабели и др.) герметизируют путем покрытия лаком, заливки эпоксидной смолой, опрессовки герметизирующими компаундами. Степень защиты определяется влагопроницаемостью используемого материала, толщиной слоя и адгезией с элементами конструкции (особенно с выводами).

3.2.3. Защита конструкций ЭВМ от механических воздействий

Допустимые уровни механического изменения конструкции определяются ее прочностью и устойчивостью к механическим воздействиям.

Прочность конструкции – способность аппаратуры выполнять свои функции и сохранять свои параметры после приложения механических воздействий.

Устойчивость конструкции к механическим воздействиям – способность аппаратуры выполнять свои функции и сохранять свои параметры во время приложения механических воздействий.

Откликом или реакцией конструкции на механические воздействия называют любые формы преобразования энергии данного воздействия.

Откликами могут быть:

- механические напряжения в элементах конструкции;
- перемещения и соударения элементов конструкции;
- деформации и разрушения конструктивных элементов;
- изменения свойств и параметров конструкции.

Основными параметрами любой конструкции с позиции реакции на механические воздействия являются масса, жесткость и механическое сопротивление (демпфирование).

Под жесткостью конструкции понимается ее способность противостоять действию внешних нагрузок с деформациями, не допускающими нарушение ее работоспособности.

Количественно жесткость оценивается коэффициентом жесткости λ :

$$\lambda = P / \delta,$$

где P – действующая сила, δ – максимальная деформация.

Механическую прочность элементов конструкции проверяют методами сопротивления материалов и теории упругости. При расчетах детали сложной конфигурации заменяют упрощенными моделями – балкой, пластиной, рамой.

Во избежание явлений резонанса проводятся расчеты по определению собственной частоты колебаний конструкции ЭВМ f_0 , которая затем сравнивается с частотами предполагаемых внешних вибрационных воздействий. Обычно конструкция обладает несколькими значениями собственных частот, но расчет выполняется только для низших значений f_0 , так как в этом случае будут наблюдаться максимальные деформации конструкции. Если низшее значение f_0 входит в спектр частот внешних воздействий, то конструкцию дорабатывают с целью увеличения f_0 . В правильно сконструированной аппаратуре

собственная частота конструкции f_0 не должна находиться в спектре частот внешних воздействий.

3.2.4. Защита ЭВМ от воздействий помех

При практической реализации электрической схемы устройства возникают паразитные связи и помехи.

Паразитная связь — не предусмотренная электрической схемой и конструкцией связь между элементами устройства или устройством и внешней средой, приводящая к появлению помех. *Паразитные элементы* — не предусмотренные электрической схемой элементы. Паразитные связи и элементы являются следствием неидеальности практической реализации электрической схемы.

Помеха — не предусмотренный при проектировании ЭВМ сигнал, способный вызвать нарушения функционирования аппаратуры, искажения передаваемой и хранимой информации. Помехами могут быть напряжения, токи, электрические заряды, напряженность поля и т.п. Источники помех могут возникать как внутри работающей аппаратуры (внутренние помехи), так и во внешней среде: в сетях электропитания, разряды статического электричества и др. (внешние помехи).

Помехи делят на шумы и наводки. *Наводки* — это помехи, возникающие вследствие появления паразитных связей. *Шумы* — это электрические сигналы, возникающие в электронных приборах независимо от наличия внешних связей и сигналов. Шумы являются следствием неидеальности характеристик электронных приборов, резисторов и конденсаторов. Шумовые параметры приводятся в технических условиях на элементы. Уровень шумов слабо зависит от конструкции изделия. Шумы обусловлены статическими флуктуациями носителей зарядов в проводниках и электронных приборах.

Помехи в цепях связи и сигнальных цепях могут быть оценены в процессе проектирования. Основные причины, вызывающие искажения сигналов при прохождении их по цепям ЭВМ, следующие:

- отражения от несогласованных нагрузок и от различных неоднородностей в линиях связи;
- затухание сигналов при прохождении их по цепям последовательно соединенных элементов;
- ухудшение фронтов и задержки, возникающие при включении нагрузок с реактивными составляющими;
- задержки в линии, вызванные конечной скоростью распространения сигнала;
- перекрестные помехи;
- паразитная связь между элементами через цепи питания и заземления;
- наводки от внешних электромагнитных полей.

Для защиты от помех в электрических сетях используются сетевые фильтры. Для ослабления нежелательного возмущающего поля в конструкцию включают специальные экраны.

3.3. Надежность конструкции

3.3.1. Понятие надежности

Надежность изделия – свойство изделия сохранять значения установленных параметров функционирования в определенных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, хранения и транспортировки в течение определенного срока времени.

Основными понятиями в теории надежности являются *работоспособность* и *отказ*.

Работоспособность – состояние ЭВМ, при котором она способна выполнять заданные функции с параметрами, установленными в технической документации.

Отказ – событие, заключающееся в полной или частичной утрате работоспособности ЭВМ.

Понятие *отказа* надо отличать от понятия *неисправности*. *Неисправное состояние* – состояние ЭВМ в данный момент времени, при котором она не удовлетворяет хотя бы одному из требований, установленных как в отношении основных параметров (характеризующих нормальное выполнение заданных функций), так и в отношении второстепенных параметров (характеризующих внешний вид и удобство эксплуатации). Это понятие не используется для оценки надежности ЭВМ, так как не каждая неисправность может привести к невыполнению ЭВМ заданных функций.

Отказы по характеру изменения параметров аппаратуры до момента их возникновения делятся на *внезапные (катастрофические)* и *постепенные*.

По взаимосвязи между собой различают отказы *независимые* и *зависимые*.

По наличию внешних признаков отказы бывают *явные*, т.е. имеющие внешние признаки после их появления, и *неявные (скрытые)*, для обнаружения которых следует провести некоторые действия.

По причине возникновения отказы бывают *конструкционные*, *производственные* и *эксплуатационные*, вызванные нарушениями при конструировании, производстве и эксплуатации, соответственно.

По характеру устранения отказы делят на *устойчивые* и *самоустраняющиеся*.

Устойчивый отказ устраняется заменой отказавшего элемента.

Самоустраняющийся отказ исчезает сам, но может повториться. Однократно возникающий самоустраняющийся отказ называется *сбоем*. Многократно возникающий самоустраняющийся отказ одного и того же характера называется *перемежающимся отказом*.

Надежность – комплексное свойство, которое в зависимости от назначения изделия и условий его эксплуатации может включать такие свойства, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, причем как по отдельности, так и в определенном сочетании этих свойств.

Безотказность – способность ЭВМ непрерывно сохранять заданные функции в течении установленного в технической документации времени.

Долговечность – свойство ЭВМ сохранять при выполнении технического обслуживания и ремонтов работоспособность до наступления предельного состояния (полного выхода из строя).

Календарную продолжительность эксплуатации изделия до полного выхода из строя называют сроком службы.

Сохраняемость – способность ЭВМ сохранять свои показатели в период хранения и транспортировки.

Ремонтпригодность – приспособленность ЭВМ к предупреждению и обнаружению причин отказов и их устранению путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Возникновение отказов происходит как из-за внутренних свойств аппаратуры, так и из-за внешних воздействий, и носит случайный характер. Для количественной оценки отказов используют вероятностные методы.

Все изделия делятся на восстанавливаемые (ремонтируемые) и невосстанавливаемые (неремонтируемые). Невосстанавливаемые ЭВМ в процессе выполнения своих функций не допускают ремонта;

восстанавливаемые – в процессе выполнения своих функций допускают ремонт.

Безотказность характеризуется:

- вероятностью безотказной работы $P(t)$ или вероятностью отказа $q(t) = 1 - P(t)$;
- частотой отказов $f(t)$;
- интенсивностью отказов $\lambda(t)$;
- средней наработкой на отказ T_{cp} .

Вероятность безотказной работы $P(t)$ – это вероятность того, что в определенных условиях эксплуатации (испытаний) в течение заданного времени t не произойдет ни одного отказа.

Вероятность безотказной работы и частоту отказов можно найти статистически по данным об отказах эксплуатируемых изделий:

$$P = \frac{N - n}{N}, \quad f = \frac{n}{N \cdot t},$$

где N – число испытаний, n – число изделий, отказавших за время испытаний t . При большом N вероятность P совпадает с вероятностью $P(t)$, а частота отказов f – с $f(t)$.

Функция $f(t)$ характеризует скорость снижения надежности во времени.

$$f(t) = q'(t) = -P'(t).$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – вероятность того, что в промежутке времени $t - \Delta t$ произойдет отказ (при условии, что в момент времени t отказов в системе не было). Т.е. это число отказов в единицу времени, отнесенное к среднему числу изделий, безотказно функционирующих в указанный промежуток времени. Интенсивность отказов характеризует надежность ЭВМ в любой момент времени.

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n_i}{N_{cp} \cdot \Delta t_i}, \quad \Delta n_i = N_i - N_{i-1}, \quad N_{cp} = \frac{N_i + N_{i-1}}{2},$$

где Δn_i – число отказов в i -ый интервал времени; N_{cp} – среднее число работоспособных изделий; N_i и N_{i-1} – количество работоспособных изделий в начале и в конце промежутка времени Δt_i .

Интенсивность отказов связана с вероятностью безотказной работы следующим соотношением:

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

Наработка на отказ – объем или продолжительность работы изделия до наступления отказа. Выражается в единицах времени, цикла и т.п. Средняя наработка на отказ называется еще средним временем безотказной работы изделия:

$$T_{cp} = \exp\left(\int_0^{\infty} P(t) dt\right).$$

Данные показатели характеризуют надежность невосстанавливаемых ЭВМ. Для восстанавливаемых изделий определение этих параметров более сложное. Восстанавливаемые изделия описываются характеристиками потока отказов $\omega(t)$, наработкой на отказ T , параметром потока восстановления $\mu(t)$, коэффициентом готовности K_g , коэффициентом вынужденного простоя K_n .

Широкое распространение получили простейшие потоки отказов, которые характеризуются тремя свойствами:

- ординарностью;
- стационарностью;
- отсутствием последствий.

Ординарность случайного потока – это вероятность появления только одного отказа в единичном интервале времени.

Стационарность потока заключается в том, что в единицу времени появляется среднее постоянное число отказов.

Отсутствие последствий – вероятность появления отказов в единичном интервале времени не зависит от возникновения отказов в другие моменты времени.

3.3.2. Законы распределения, применяемые в теории надежности

Показатели надежности являются вероятностными характеристиками и для их описания используют разные законы распределения.

Во время эксплуатации аппаратуры выделяются несколько периодов, характеризующихся разной зависимостью интенсивности отказов во времени (см. рис. 3.1).

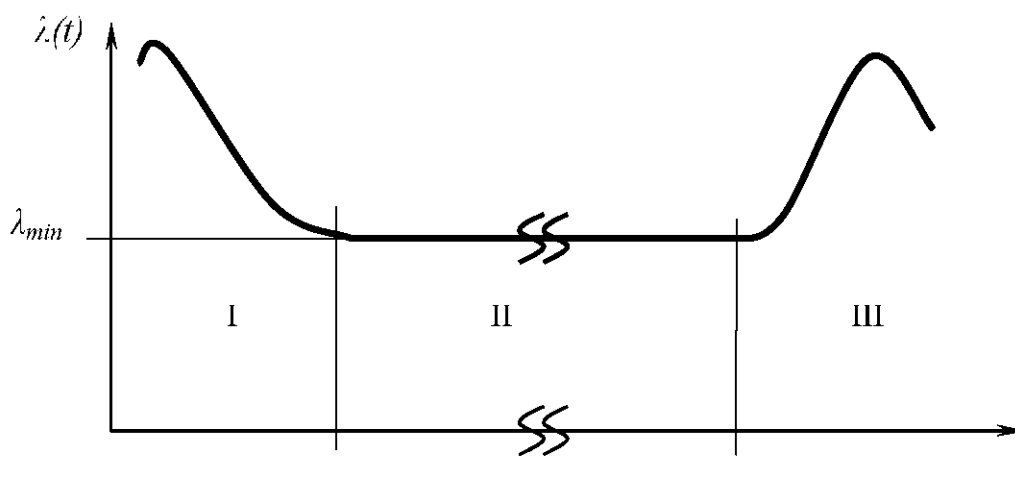


Рисунок 3.1 – Распределение интенсивности отказов по периодам эксплуатации ЭВМ (I – период приработки, II – период нормальной работы, III – период износа).

В начальный период работы (так называемый период приработки) отказы аппаратуры происходят из-за выхода из строя элементов, имевших скрытые производственные дефекты. Продолжительность периода приработки не превышает нескольких процентов от продолжительности периода нормальной эксплуатации ЭВМ.

Интенсивность отказов в период приработки постепенно снижается до некоторого минимального уровня (λ_{min}) и остается относительно постоянной в течении второго периода эксплуатации аппаратуры (периода нормальной работы).

В конечный период эксплуатации аппаратуры (период старения и износа) износ элементов идет за счет необратимых физико-химических процессов.

Наиболее часто используемой статистической моделью надежности является *экспоненциальная модель распределения*. Эта модель основана на предположении о постоянной во времени интенсивности отказов.

Характеристики надежности при этом распределении выглядят следующим образом:

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

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

$$\lambda(t) = Const;$$

$$T_{cp} = 1 / \lambda.$$

Экспоненциальная модель распределения хорошо применима при расчетах надежности аппаратуры одноразового применения, содержащей большое число неремонтируемых компонентов. Также данная модель используется для расчета надежности аппаратуры в основной период эксплуатации, исключая начальный период приработки и конечный период старения.

При длительной работе ЭВМ при планировании ее ремонта важно знать не вероятность возникновения отказов, а их число за определенный период эксплуатации. В этом случае применяют *распределение Пуассона*, позволяющее подсчитать вероятность появления любого числа случайных событий за некоторый период времени.

Вероятность отсутствия отказа за время t составляет:

$$P_0 = e^{-\lambda t}.$$

Вероятность появления i отказов за время t :

$$P_i = \lambda^i t^i e^{-\lambda t} / i!.$$

Для оценки надежности в период приработки аппаратуры используют закон Вейбулла. Это двухпараметрический закон (два параметра – λ_0 и α), при $\alpha=1$ переходит в экспоненциальный закон распределения:

$$P(t) = \exp(-\lambda_0 t^\alpha), \quad t \geq 0, \lambda_0 > 0, \alpha > 0;$$

$$f(t) = \lambda_0 \alpha t^{\alpha-1} \exp(-\lambda_0 t^\alpha);$$

$$\lambda(t) = \lambda_0 \alpha t^{\alpha-1};$$

$$T_{cp} = \lambda_0^{-1/\alpha} \Gamma(1 + 1/\alpha).$$

В период старения и износа отказы зависят от большого числа факторов, влияние каждого из которых однородно. Поэтому для оценки надежности в этот период используют *нормальный закон распределения* и *распределение Релея*.

Для распределения Релея (C – параметр распределения):

$$P(t) = \exp(-t^2 / 2C^2);$$

$$f(t) = (t/C^2) \exp(-t^2 / 2C^2);$$

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

$$T_{cp} = C\sqrt{\pi/2}.$$

Для нормального закона распределения:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_T} \cdot \exp\left(-\frac{(t - \bar{T})^2}{2\sigma_T^2}\right).$$

где σ_T – среднее квадратичное отклонение, а \bar{T} – математическое ожидание.

3.3.3. Методы обеспечения и повышения надежности

Методы обеспечения надежности делятся на общие и специальные.

Общие методы обеспечения надежности реализуются на стадиях проектирования и производства путем: максимального упрощения принципиальной схемы с одновременным уменьшением числа элементов с

невысокой надежностью; ослабления влияния внешних воздействий герметизацией, амортизацией, охлаждением и т. д.; использования унифицированных блоков, проверенных и отработанных в условиях массового производства и имеющих высокую надежность.

Специальные методы реализуются путем облегчения режима работы элементов схем и конструкции, предварительной тренировки элементов, резервирования и др.

Облегчение режима работы схемных элементов снижает интенсивность отказов. Для учета нагрузки и тепловых режимов элементов используют коэффициент нагрузки K_H , представляющий собой отношение рабочих мощностей, напряжений или токов к их номинальным значениям. При проектировании ЭВМ и систем для транзисторов и диодов коэффициенты нагрузки K_H должны находиться в пределах 0,3...0,5; для резисторов – 0,4...0,6; для конденсаторов – 0,3...0,5; для реле, переключателей, выключателей – 0,5...0,8.

Для сокращения этапа приработки используется предварительная тренировка элементов.

Резервирование является наиболее эффективным методом повышения надежности, оно осуществляется внесением в конструкцию ЭВМ дополнительных элементов, блоков, узлов и устройств, включаемых в работу при отказе основных. Резервирование может быть общим (дублируются целые блоки или вся ЭВМ) и поэлементным (дублирование осуществляется на уровне микросхем или отдельных элементов). Отношение числа резервных элементов к числу основных называется кратностью резервирования.

Различают резервирование замещением и постоянное резервирование.

При резервировании замещением резервный блок включается в работу переключением вручную или автоматически. При постоянном резервировании резервные элементы включены одновременно с основными

и функционируют в тех же режимах, а при отказах нагрузка перераспределяется между оставшимися работоспособными элементами (например, при резервном последовательном включении конденсаторов и параллельном включении резисторов).

Применение резервирования ограничивается габаритными размерами изделия, мощностью источников питания, необходимостью разработки дополнительных схем по обнаружению отказов и переключению с отказавших элементов на резервные.

Для повышения надежности ЭВМ часто используют информационные методы, которые реализуются в виде корректирующих кодов, позволяющих обнаруживать и исправлять ошибки без прерывания работы устройства.

Корректирующие коды предусматривают введение некоторой избыточности. Избыточность бывает временной и пространственной.

Временная избыточность связана с увеличением времени решения задачи (задача решается несколько раз) и вводится программным путем, являясь основой программного способа обнаружения и исправления ошибок.

Пространственная избыточность заключается в удлинении кодов чисел, в которые вводят дополнительные (контрольные) разряды.

Контрольные вопросы

1. Какие климатические условия эксплуатации ЭВМ считаются нормальными?
2. Зачем рассчитывают собственную частоту колебаний конструкций ЭВМ?
3. Какой отказ называется сбоем?
4. Что такое долговечность?
5. Для чего используется резервирование?