### 2 НАДЁЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### 2.1 Основные понятия надёжности. Классификация отказов. Составляющие надёжности

Термины и определения, используемые в теории надёжности, регламентированы ГОСТ 27.002-89 «Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения».

**2.1.1 Основные понятия**

Надёжность объекта характеризуется следующими основными *состояниями* и *событиями*.

**Исправность**– состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям, установленным нормативно-технической документацией (НТД).

**Работоспособность**– состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции, сохраняя значения основных параметров, установленных  НТД.

Основные параметры характеризуют функционирование объекта при выполнении поставленных задач.

Понятие ***исправность*** шире, чем понятие ***работоспособность***. Работоспособный объект обязан удовлетворять лишь тем требования НТД, выполнение которых обеспечивает нормальное применение объекта по назначению. Таким образом, если объект неработоспособен, то это свидетельствует о его неисправности. С другой стороны, если объект неисправен, то это не означает, что он неработоспособен.

**Предельное состояние**– состояние объекта, при котором его применение по назначению недопустимо или нецелесообразно.

Применение (использование) объекта по назначению прекращается в следующих случаях:

* при неустранимом нарушении безопасности;
* при неустранимом отклонении величин заданных параметров;
* при недопустимом увеличении эксплуатационных расходов.

Для некоторых объектов предельное состояние является последним в его функционировании, т.е. объект снимается с эксплуатации, для других – определенной фазой в эксплуатационном графике, требующей проведения ремонтно-восстановительных работ.

В связи с этим, объекты  могут быть:

* ***невосстанавливаемые***, для которых работоспособность в случае возникновения отказа, не подлежит восстановлению;
* ***восстанавливаемые***, работоспособность которых может быть восстановлена, в том числе и путем замены.

К числу невосстанавливаемых объектов можно отнести, например: подшипники качения, полупроводниковые изделия, зубчатые колеса и т.п. Объекты, состоящие из многих элементов, например, станок, автомобиль, электронная аппаратура, являются восстанавливаемыми, поскольку их отказы связаны с повреждениями одного или немногих элементов, которые могут быть заменены.

В ряде случаев один и тот же объект в зависимости от особенностей, этапов эксплуатации или назначения может считаться восстанавливаемым или невосстанавливаемым.

**Отказ**– событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Критерий отказа – отличительный признак или совокупность признаков, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа.

**2.1.2 Классификация и характеристики отказов**

По *типу* отказы подразделяются на:

* ***отказы функционирования*** (выполнение основных функций объектом прекращается, например, поломка зубьев шестерни);
* ***отказы параметрические*** (некоторые параметры объекта изменяются в недопустимых пределах, например, потеря точности станка).

По своей *природе*  отказы могут быть:

* ***случайные,*** обусловленные непредусмотренными перегрузками, дефектами материала, ошибками персонала или сбоями системы управления и т. п.;
* ***систематические,*** обусловленные закономерными и неизбежными явлениями, вызывающими постепенное накопление повреждений: усталость, износ,  старение, коррозия и т. п.

Отказы элементов систем могут возникать в результате (рис. 2.1):

1) первичных отказов;

2) вторичных отказов;

3) ошибочных команд (инициированные отказы).

(усталости) материала служит примером первичного отказа.

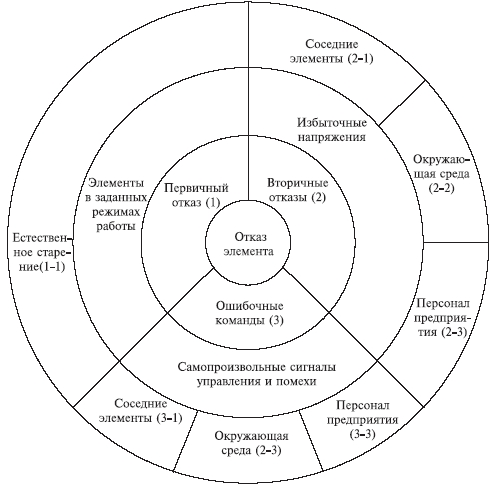


Рис. 2.1

Отказы всех этих категорий могут иметь различные причины, приведенные в наружном кольце. Когда точный вид отказов определен и данные по ним получены, а конечное событие является критическим, то они рассматриваются как исходные отказы.

*Первичный отказ* элемента определяют как нерабочее состояние этого элемента, причиной которого является он сам, и необходимо выполнить ремонтные работы для возвращения элемента в рабочее состояние. Первичные отказы происходят при входных воздействиях, значение которых находится в пределах, лежащих в расчетном диапазоне, а отказы объясняются естественным старением элементов. Разрыв резервуара вследствие старения

*Вторичный отказ* - такой же, как первичный, за исключением того, что сам элемент не является причиной отказа. Вторичные отказы объясняются воздействием предыдущих или текущих избыточных напряжений на элементы. Амплитуда, частота, продолжительность действия этих напряжений могут выходить за пределы допусков или иметь обратную полярность и вызываются различными источниками энергии: термической, механической, электрической, химической, магнитной, радиоактивной и т.п. Эти напряжения вызываются соседними элементами или окружающей средой, например - метеорологическими (ливень, ветровая нагрузка), геологическими условиями (оползни, просадка грунтов), а также воздействием со стороны других технических систем.

Примером вторичных отказов служит "срабатывание предохранителя от повышенного электрического тока", "повреждение емкостей для хранения при землетрясении". Следует отметить, что устранение источников повышенных напряжений не гарантирует возвращение элемента в рабочее состояние, так как предыдущая перегрузка могла вызвать необратимое повреждение в элементе, требующее в этом случае ремонта.

*Инициированные отказы* (ошибочные команды). Люди, например, операторы и обслуживающий технический персонал, также являются возможными источниками вторичных отказов, если их действия приводят к выходу элементов из строя. Ошибочные команды представляются в виде элемента, находящегося в нерабочем состоянии из-за неправильного сигнала управления или помех (при этом лишь иногда требуется ремонт для возвращения данного элемента в рабочее состояние). Самопроизвольные сигналы управления или помехи часто не оставляют последствий (повреждений), и в нормальных последующих режимах элементы работают в соответствии с заданными требованиями. Типичными примерами ошибочных команд являются: "напряжение приложено самопроизвольно к обмотке реле", "переключатель случайно не разомкнулся из-за помех", "помехи на входе контрольного прибора в системе безопасности вызвали ложный сигнал на остановку", "оператор не нажал на аварийную кнопку" (ошибочная команда от аварийной кнопки).

*Основные признаки классификации отказов:*

 Таблица 2.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **характер возникновения:** | | * ***внезапный отказ* – отказ, проявляющийся в резком (мгновенном) изменении характеристик объекта;** |
| * ***постепенный отказ* – отказ, происходящий в результате медленного, постепенного ухудшения качества объекта.** |
| **Внезапные отказы обычно проявляются в виде механических повреждений элементов (трещины – хрупкое разрушение, пробои изоляции, обрывы и т. п.) и не сопровождаются предварительными видимыми признаками их приближения. Внезапный отказ характеризуется независимостью момента наступления от времени предыдущей работы.**  **Постепенные отказы - связаны с износом деталей и старением материалов.** | | |
| **причина возникновения:** | * ***конструкционный отказ,* вызванный  недостатками и неудачной конструкцией объекта;** | |
| * ***производственный отказ,* связанный с ошибками при изготовлении объекта по причине несовершенства или нарушения технологии;** | |
| * ***эксплуатационный отказ,* вызванный нарушением правил эксплуатации.** | |
| **характер устранения:** | * ***устойчивый отказ;*** | |
| * ***перемежающийся отказ* (возникающий/исчезающий). последствия отказа: легкий отказ (легкоустранимый);** | |
| * ***средний отказ* (не вызывающий отказы смежных узлов – вторичные отказы);** | |
| * ***тяжелый отказ* (вызывающий вторичные отказы или приводящий к угрозе жизни и здоровью человека).** | |
| **дальнейшее использование объекта:** | * ***полные отказы,* исключающие возможность работы объекта до их устранения;** | |
| * ***частичные отказы,* при которых объект может частично использоваться.** | |
| **легкость обнаружения:** | * ***очевидные (явные) отказы;*** | |
| * ***скрытые (неявные) отказы.*** | |
| **время возникновения:** | * ***приработочные отказы,* возникающие в начальный период эксплуатации;** | |
| * ***отказы при нормальной эксплуатации;*** | |
| * ***износовые отказы,* вызванные необратимыми процессами износа деталей, старения материалов и пр.** | |

**2.1.3 Составляющие надёжности**

 В соответствии с ГОСТ 27.002-89 под **надёжностью** понимают свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки.

**Таким образом:**

**1. Надёжность - свойство объекта сохранять во времени способность выполнять требуемые функции. Например: для электродвигателя - обеспечивать требуемые момент на валу и скорость; для системы электроснабжения - обеспечивать электроприемники энергией требуемого качества.**

**2. Выполнение требуемых функций должно происходить при значениях параметров в установленных пределах. Например: для электродвигателя - обеспечивать требуемые момент и скорость при температуре двигателя, не превышающей определенного предела, отсутствии выделения источника взрыва, пожара и т.д.**

**3. Способность выполнять требуемые функции должна сохраняться в заданных режимах (например, в повторно-кратковременном режиме работы); в заданных условиях (например, в условиях запыленности, вибрации и т.д.).**

**4. Объект должен обладать свойством сохранять способность выполнять требуемые функции в различные фазы его жизни: при рабочей эксплуатации, техническом обслуживании, ремонте, хранении и транспортировке.**

**Надёжность** - важный показатель качества объекта. Его нельзя ни противопоставлять, ни смешивать с другими показателями качества. Явно недостаточной, например, будет информация о качестве установки очистки, если известно только то, что она обладает определенной производительностью и некоторым коэффициентом очистки, но неизвестно, насколько устойчиво сохраняются эти характеристики при ее работе. Бесполезна также информация о том, что установка устойчиво сохраняет присущие ей характеристики, но неизвестны значения этих характеристик. Вот почему в определение понятия надёжности входит выполнение заданных функций и сохранение этого свойства при использовании объекта по назначению.

Надёжность является *комплексным* свойством, включающим в себя в зависимости от назначения объекта или условий его эксплуатации *ряд простых свойств:*

* ***безотказность;***
* ***долговечность;***
* ***ремонтопригодность;***
* ***сохраняемость.***

**Безотказность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторой наработки или в течение некоторого времени.

*Наработка* – продолжительность или объем работы объекта, измеряемая в любых неубывающих величинах (единица времени, число циклов нагружения, километры пробега и т. п.).

**Долговечность** – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

**Ремонтопригодность** – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, поддержанию и восстановлению работоспособности путем проведения ремонтов и технического обслуживания.

**Сохраняемость** – свойство объекта непрерывно сохранять требуемые эксплуатационные показатели в течение (и после) срока хранения и транспортирования.

В зависимости от объекта надёжность может определяться всеми перечисленными свойствами или частью их. Например, надёжность колеса зубчатой передачи, подшипников определяется их долговечностью, а станка – долговечностью, безотказностью и ремонтопригодностью.

**2.1.4 Основные показатели надёжности**

***Показатель надёжности***количественно характеризует, в какой степени данному объекту присущи определенные свойства, обусловливающие надёжность. Одни показатели надёжности  (например, технический ресурс, срок службы) могут иметь размерность, ряд других (например, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности) являются безразмерными.

Рассмотрим  показатели составляющей надёжности - долговечность.

***Технический ресурс*** – наработка объекта от начала его эксплуатации или возобновления эксплуатации после ремонта до наступления предельного состояния. Строго говоря, технический ресурс может быть регламентирован следующим образом: до среднего, капитального, от капитального до ближайшего среднего ремонта и т. п. Если регламентация отсутствует, то имеется в виду ресурс от начала эксплуатации до достижения предельного состояния после всех видов ремонтов.

Для невосстанавливаемых объектов понятия технического ресурса и наработки до отказа совпадают.

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

***Срок службы*** – календарная продолжительность эксплуатации (в том числе, хранение, ремонт и т. п.) от ее начала до наступления предельного состояния.

На рис.2.2 приведена графическая интерпретация перечисленных показателей, при этом:

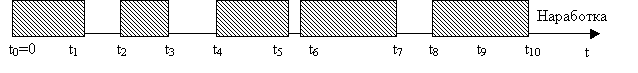


Рис. 2.2.

t0 = 0 – начало эксплуатации;

t1, t5 – моменты отключения по технологическим причинам;

t2, t4, t6, t8 – моменты включения объекта;

t3, t7 – моменты вывода объекта в ремонт, соответственно, средний и капитальный;

t9 – момент прекращения эксплуатации;

t10 – момент отказа объекта.

Технический ресурс (наработка до отказа)

*ТР = t1+ (t3 – t2 ) + (t5 – t4) + (t7 – t6) + (t10 – t8).*

Назначенный ресурс

*ТН = t1 + (t3 –t2 ) + (t5 – t4 ) + (t7 –t6 ) + (t9 –t8 ).*

Срок службы объекта           *ТС = t10* .

Для большинства объектов электромеханики в качестве критерия долговечности чаще всего используется технический ресурс.

**2.2 Количественные показатели безотказности и математические модели надёжности**

**2.2.1 Статистические и вероятностные формы представления показателей безотказности** невосстанавливаемых объектов

Наиболее важные показатели надёжности невосстанавливаемых объектов – *показатели безотказности*, к которым относятся:

* ***вероятность безотказной работы;***
* ***плотность распределения отказов;***
* ***интенсивность отказов;***
* ***средняя наработка до отказа.***

Показатели надёжности представляются в двух формах (определениях):

- статистическая (выборочные оценки);

- вероятностная.

*Статистические определения (выборочные оценки)* показателей получаются по результатам испытаний на надёжность.

**Допустим, что в ходе испытаний какого-то числа однотипных объектов получено конечное число интересующего нас параметра – наработки до отказа. Полученные числа представляют собой выборку некоего объема из общей «генеральной совокупности», имеющей неограниченный объем данных о наработке до отказа объекта.**

**Количественные показатели, определённые для «генеральной совокупности», являются *истинными (вероятностными) показателями,* поскольку объективно характеризуют случайную величину – наработку до отказа.**

**Показатели, определённые для выборки, и, позволяющие сделать какие-то выводы о случайной величине, являются *выборочными (статистическими) оценками.* Очевидно, что при достаточно большом числе испытаний (большой выборке) оценки *приближаются* к вероятностным показателям.**

Вероятностная форма представления показателей удобна при аналитических расчетах, а статистическая - при экспериментальном исследовании надежности.

В дальнейшем для обозначения статистических оценок будем использовать знак ^ сверху.

В дальнейших рассуждениях будем исходить из того, что испытания проходят *N* одинаковых объектов. Условия испытаний одинаковы, а испытания каждого из объектов проводятся до его отказа. Введем следующие обозначения:

- случайная величина наработки объекта до отказа;

*N(t)-* число объектов, работоспособных к моменту наработки *t;*

*n(t) -* число объектов, отказавших к моменту наработки *t;*

**- число объектов, отказавших в интервале наработки *[t, t+Δt]*;

*Δt* - длительность интервала наработки.

***Вероятность безотказной работы (ВБР)***

***и вероятность отказа (ВО)***

Статистическое определение ВБР (эмпирическая функция надёжности) определяется по формуле:

 **(1)**

т.е. ВБР есть отношение числа объектов*(N(t))*, безотказно проработавших до момента наработки *t*, к числу объектов, исправных к началу испытаний *(t=0),* т.е. к общему числу объектов *N*. ВБР можно рассматривать как показатель доли работоспособных объектов к моменту наработки *t*.

Поскольку *N(t)= N- n(t),* то ВБР можно определить как

 **(2)**

где - вероятность отказа (ВО).

В статистическом определении ВО представляет эмпирическую функцию распределения отказов.

Так как события, заключающиеся в наступлении или ненаступлении отказа к моменту наработки *t*, являются противоположными, то

 **(3)**

Нетрудно убедиться, что ВБР является убывающей, а ВО - возрастающей функцией наработки. Справедливы следующие утверждения:

1. В момент начала испытаний при *t*=0 число работоспособных объектов равно общему их числу *N(t)=N(0)=N*, а число объектов отказавших равно *n(t)=n(0)=0.* Поэтому , а ;

2. При наработке *t*  все объекты, поставленные на испытания, откажут, т.е. *N( )=0*, а *n( )=N*.

Поэтому, , а .

При большом числе элементов (изделий) *N0* статистическая оценка  практически совпадает с вероятностью безотказной работы *P(t)*, а  - с *.*

Вероятностное определение ВБР описывается формулой

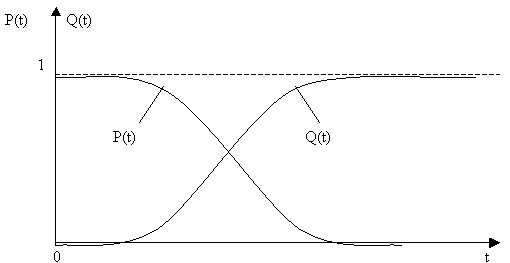
 **(4)**

т.е. ВБР есть вероятность того, что случайная величина наработки до отказа *T* окажется больше некоторой заданной наработки *t*.

Очевидно, что ВО будет являться функцией распределения случайной величины *T* и представляет из себя вероятность того, что наработка до отказа окажется меньше некоторой заданной наработки *t*:

*Q(t)= Вер{T<t}=P{T<t}.* **(5)**

Графики ВБР и ВО приведены на рис. 2.3.



**Рис. 2.3. Графики вероятности безотказной работы и вероятности отказов**

***Плотность распределения отказов (ПРО)***

Статистическое определение ПРО:

[ед. наработки-1], **(6)**

т.е. ПРО есть отношение числа объектов, отказавших в интервале наработки *[t, t+Δt]* к произведению общего числа объектов *n* на длительность интервала наработки *Δt*.

|  |
| --- |
| ***Наработка* – продолжительность или объем работы объекта, измеряемая в любых неубывающих величинах (единица времени, число циклов нагружения, километры пробега и т. п.).** |

Поскольку *Δn(t, t+Δt)= n(t+Δt)-n(t),* где *n(t+Δt) -* число объектов, отказавших к моменту наработки *t+ Δt*, то ПРО можно представить:

**(7)**



где -оценка ВО в интервале наработки, т.е. приращения ВО за *Δt.*

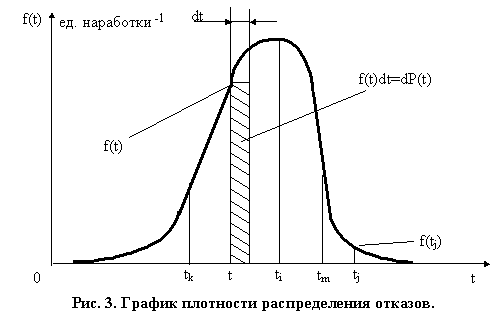


ПРО по смыслу представляет частоту отказов, т.е. число отказов за единицу наработки, отнесенное к первоначальному числу объектов.

Вероятностное определение ПРО следует из **(7)** при стремлении интервала наработки *Δt 0* и *N * 

**(8)**

ПРО по существу является плотностью распределения случайной величины *T* наработки до отказа объекта. Один из возможных видов графика *f(t)* приведен на **рис. 3**.



***Интенсивность отказов (ИО)***

Статистическое определение ИО описывается формулой

[ ед.наработки -1 ] **(9)**

т.е. ИО есть отношение числа объектов *Δn [t, t+Δt]*, отказавших в интервале наработки *[t, t+Δt]* к произведению числа исправных объектов на момент *t* на длительность интервала наработки *Δt.*

Сравнивая **(6)** и **(9)** можно отметить, что ИО несколько полнее характеризует надежность объекта на момент наработки *t*, т.к. показывает частоту отказов, отнесенную к фактически работоспособному числу объектов на момент наработки *t*.

Вероятностное определение ИО получим, умножив и поделив правую часть выражения **(9)** на N

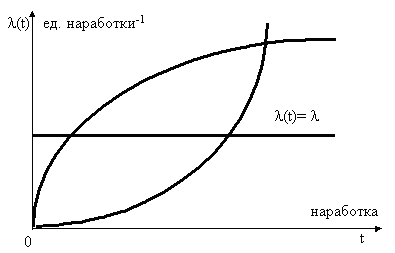


С учетом  **(7)**, , можно представить

,

откуда при стремлении *Δt 0* **(интервала наработки)** и *N * получаем:   **(10)**

Возможные виды графиков приведены на **рис. 2.4.**



**Рис. 2.4.**

***Средняя наработка до отказа***

Рассмотренные выше показатели надежности *P(t), Q(t), f(t)* и полностью описывают случайную величину наработки до отказа *T={t}*. В тоже время для решения ряда практических задач бывает достаточно знать некоторые числовые характеристики этой случайной величины и, в первую очередь, среднюю наработку до отказа.

Статистическое определение средней наработки до отказа

, **(11)**

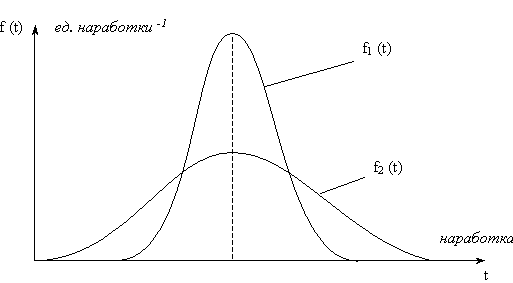
где *ti*- наработка до отказа *i*-го объекта.

При вероятностном определении средняя наработка до отказа представляет собой математическое ожидание (МО) случайной величины *Т*, и поэтому, как всякое МО, определяется:

. **(12)**

Очевидно, что с увеличением выборки испытаний (*N * *)* средняя арифметическая наработка (оценка)  сходится по вероятности с **МО** наработки до отказа.

В то же время средняя наработка не может полностью характеризовать безотказность объекта. Так при равных средних наработках до отказа  надежность объектов 1 и 2 может весьма существенно различаться **(рис. 2.5).**



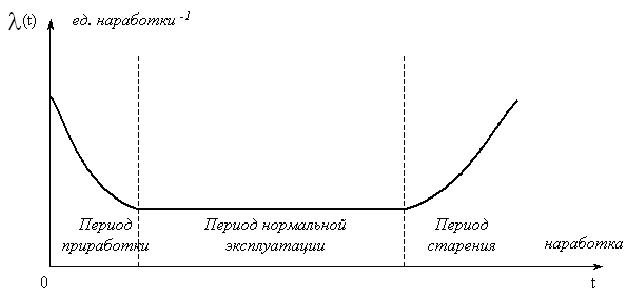
*f(t)* – плотность распределения отказов ПРО

**Рис. 2.5. Различие кривых ПРО при одинаковой средней наработке до отказа**

**2.2.2 Математические модели надёжности**

Для решения задач по оценке надежности и прогнозированию работоспособности объекта необходимо иметь математическую модель, которая представлена аналитическими выражениями одного из показателей: *P(t)* или *f(t*) или . Основной путь для получения модели состоит в проведении испытаний, вычислении статистических оценок и их аппроксимации аналитическими функциями.

Опыт эксплуатации показывает, что изменение ИО  подавляющего большинства объектов описывается *U* -образной кривой **(рис. 2.6).**



**Рис. 2.6 – Кривая изменения интенсивности отказа объекта**

Эту кривую можно условно разделить на три характерных участка: первый - период приработки объекта, второй – нормальная эксплуатация, третий - старение.

***Период приработки* объекта имеет повышенную ИО, вызванную приработочными отказами, обусловленными дефектами производства, монтажа, наладки. Иногда с окончанием этого периода связывают *гарантийное обслуживание* объекта, когда устранение отказов производится изготовителем.**

**В *период нормальной эксплуатации* ИО уменьшается и практически остается постоянной, при этом отказы носят случайный характер и появляются внезапно, прежде всего из-за несоблюдения условий эксплуатации, случайных изменений нагрузки, неблагоприятных внешних факторов и т. п. Именно этот период соответствует основному времени эксплуатации объекта.**

**Возрастание ИО относится к *периоду старения* объекта и вызвано увеличением числа отказов от износа, старения и других причин, связанных с длительной эксплуатацией.**

Вид аналитической функции, описывающей изменение показателей надежности *P(t)*, *f(t)* или *(t)*, определяет ***закон распределения случайной величины,*** который выбирается в зависимости от свойств объекта, его условий работы и характера отказов.



**Экспоненциальное распределение**

*Экспоненциальный (показательный) закон распределения* называемый также основным законом надёжности, часто используют для прогнозирования надежности в период нормальной эксплуатации изделий, когда *постепенные отказы* еще не проявились и надежность характеризуется *внезапными отказами.* Эти объекты можно отнести к «не стареющим», поскольку они работают только на участке с =*λ* =const **(рис.2.6).** Отказы вызываются неблагоприятным стечением многих обстоятельств и поэтому имеют постоянную *интенсивность.* **Экспоненциальное распределение описывает наработку на отказ тех объектов, у которых в результате сдаточных испытаний (выходного контроля) отсутствует период приработки, а назначенный ресурс установлен до окончания периода нормальной эксплуатации.**

Плотность распределения экспоненциального закона описывается соотношением

,

функция распределения этого закона — соотношением

,

функция надёжности

,

математическое ожидание случайной величины *T*

,

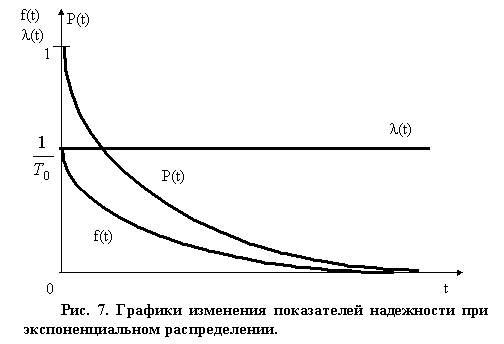
дисперсия случайной величины *T*

.

Экспоненциальный закон в теории надёжности нашел широкое применение, так как он прост для практического использования. Почти все задачи, решаемые в теории надёжности, при использовании экспоненциального закона оказываются намного проще, чем при использовании других законов распределения. Основная причина такого упрощения состоит в том, что при экспоненциальном законе вероятность безотказной работы зависит только от длительности интервала и не зависит от времени предшествующей работы.

Экспоненциальное распределение широко применяется для оценки надежности **энергетических** объектов.

Графики изменения показателей надёжности при экспоненциальном распределении приведены на **рис.2.7**.



**Рис. 2.7.**

**Нормальное распределение**

Нормальное распределение является наиболее универсальным, удобным и широко применяемым. Считается, что наработка объекта подчинена нормальному распределению (нормально распределена), если ПРО описывается выражением:

,

где *a* и *b -*параметры распределения, соответственно, МО и СКО, которые по результатам испытаний принимаются: , где  и - оценки средней наработки до отказа и дисперсии (  - СКО).

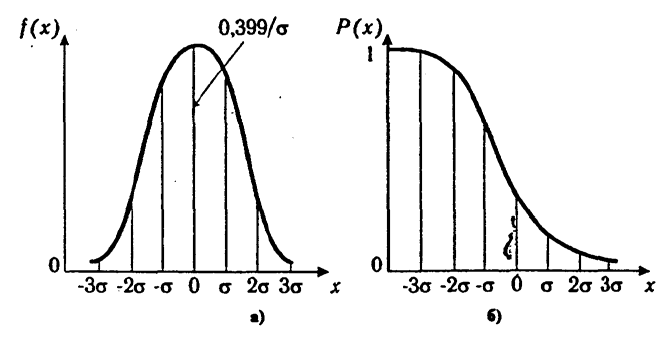
Т.о. ПРО имеет вид

. (  - МО наработки).

Колоколообразная кривая плотности распределения приведена на рис. 2.8.

Интегральная функция распределения имеет вид

.



**Рис. 2.8 Кривые плотности вероятности (а) и**

**функции надежности (б) нормального распределения**

Вычисление интегралов заменяют использованием таблиц нормального распределения, при котором = 0 и *σ* = 1. Для этого распределения функция плотности распределения отказов имеет одну переменную *t* и выражается зависимостью



Величина *t* является центрированной (так как = 0) и нормированной (так как σ*t*= 1).

Функция распределения соответственно запишется в виде:



Значение функции распределения определяется формулой

*F(t)* = 0,5 + *Ф(u)* = *Q(t)*;

где *Ф* – функция Лапласа, *u* = (*t-T*0)/*σ* - квантиль нормированного нормального распределения. Т.е. функция распределения представляет собой ВО.

При использовании функции Лапласа вместо интегральной функции распределения *F*0(*t*) имеем

,

ВО и ВБР, выраженные через функцию Лапласа, имеют вид

, (*Ф* от (*и*), а не умножить!!!)

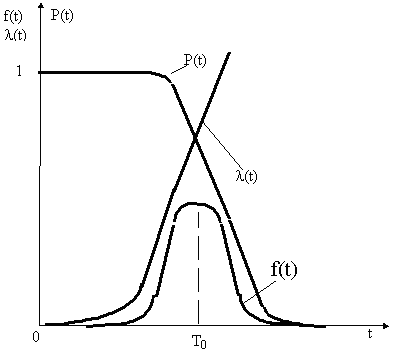
.

Вероятность попадания случайной величины *Х* в заданный интервал значений от *α* до *β* вычисляют по формуле

.

Значения функции Лапласа *Ф* и  *u –* табулированы.

Общий характер изменения показателей надёжности при нормальном распределении приведён на **рис. 2.9**.



**Рис. 2.9.**

***Нормальный закон распределения* часто называют законом Гаусса. Этот закон играет важную роль и наиболее часто используется на практике по сравнению с другими законами распределения.**

**Основная особенность этого закона состоит в том, что он является *предельным законом,* к которому приближаются другие законы распределения. В теории надежности его используют для описания постепенных отказов, когда распределение времени безотказной работы в начале имеет низкую плотность, затем максимальную и далее плотность снижается.**

**Распределение всегда подчиняется нормальному закону, если на изменение случайной величины оказывают влияние многие, примерно равнозначные факторы.**

**2.2.3 Расчёт характеристик надёжности невосстанавливаемых объектов при основном соединении элементов**

Если отказ системы наступает при отказе одного из элементов, то считают, что такая система имеет основное соединение элементов. Тогда ВБР изделия в течение времени *t* равна произведению ВБР её элементов в течение того же времени

.

Если значения ВБР близки к 1, то с достаточной для практики точностью можно использовать следующую приближённую формулу:

.

Если все элементы равнонадёжны, ИО системы будет

.,

Где *Nт*  - число типов элементов.

Если система состоит из нескольких элементов с различными значениями ИО, то среднее значение определяют по формуле

.

Если элементы функционируют в различных условиях или в различной степени подвержены влиянию внешних воздействующих факторов, то ИО элемента вычисляется по формуле

,

где  - ИО эл-та, работающего в нормальных условиях,  - поправочные коэф-ты, зависящие от различных факторов.

Поправочный коэф-т  позволяет учесть внешние воздействия, главным образом механические перегрузки и влажность, поправочный коэф-т  - влияние температуры и внутренних напряжений (как электрических, так и механических).

Если элементы имеют не постоянную ИО, но существуют чётко выраженные временные интервалы, в течение которых ИО Эл-та в основном постоянна, то для расчёта используется т.н. эквивалентная интенсивность отказов. Например, если ИО за период *t1* равна λ1, за период *t2* равна *λ2* и т.д., то общая ИО за период времени *Т=t1 +t2 +t3 +t4+…* будет

.

**2.2.4 Показатели надёжности восстанавливаемых объектов**

Большинство сложных технических систем с длительными сроками службы являются *восстанавливаемыми,* т.е. возникающие в процессе эксплуатации отказы систем устраняют при ремонте. Технически исправное состояние изделий в процессе эксплуатации поддерживают проведением профилактических и восстановительных работ.

Для осуществляемых в процессе эксплуатации изделий работ по поддержанию и восстановлению их работоспособности характерны значительные затраты труда, материальных средств и времени. Как правило, эти затраты за время эксплуатации изделия значительно превышают соответствующие затраты на его изготовление. Совокупность работ по поддержанию и восстановлению работоспособности и ресурса изделий подразделяют на *техническое обслуживание*, *и ремонт,* которые, в свою очередь, подразделяют на *профилактические работы*, осуществляемые в плановом порядке и *аварийные,* проводимые по мере возникновения отказов или аварийных ситуаций.

Свойство ремонтопригодности изделий влияет на материальные затраты и длительность простоев в процессе эксплуатации. Ремонтопригодность тесно связана с безотказностью и долговечностью изделий. Так, для изделий, с высоким уровнем безотказности, как правило, характерны низкие затраты труда и средств на поддержание их работоспособности.

Показатели безотказности и ремонтопригодности изделий являются составными частями комплексных показателей, таких как коэффициенты готовности *К*г*,* оперативной готовности *К*ОГ  и технического использования *К*т.и.*.* К показателям надёжности, присущим только восстанавливаемым элементам, следует отнести среднюю наработку на отказ, наработку между отказами, вероятность восстановления, среднее время восстановления, коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности и коэффициент технического использования.

*Средняя наработка на отказ —* наработка восстанавливаемого элемента, приходящаяся, в среднем, на один отказ в рассматриваемом интервале суммарной наработки или определенной продолжительности эксплуатации:



где *ti* *—* наработка элемента до *i-го* отказа; *m —* число отказов в рассматриваемом интервале суммарной наработки.

*Наработка между отказами* определяется объемом работы элемента от *i*-гo отказа до (*i* + 1)-го, где *i* =1, 2,..., *m.*

*Среднее время восстановления* одного отказа в рассматриваемом интервале суммарной наработки или определенной продолжительности эксплуатации



где *tвi* — время восстановления *i*-го отказа.

*Коэффициент готовности К*гпредставляет собой вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольный момент времени, кроме периодов выполнения планового технического обслуживания, когда применение изделия по назначению исключено. Этот показатель является комплексным, так как он количественно характеризует одновременно два показателя: безотказность и ремонтопригодность.

В стационарном (установившемся) режиме эксплуатации и при любом виде закона распределения времени работы между отказами и времени восстановления коэффициент готовности определяют по формуле

,

**(*Т*о — средняя наработка на отказ; *Тв* — среднее время восстановления одного отказа).**

Таким образом, анализ формулы показывает, что надёжность изделия является функцией не только безотказности, но и ремонтопригодности. Это означает, что низкая надёжность может быть несколько компенсирована улучшением ремонтопригодности. Чем выше интенсивность восстановления, тем выше готовность изделия. Если время простоя велико, то готовность будет низкой.

Другой важной характеристикой ремонтопригодности является коэффициент технического использования, который представляет собой отношение наработки изделия в единицах времени за некоторый период эксплуатации к сумме этой наработки и времени всех простоев, обусловленных устранением отказов, техническим обслуживанием и ремонтами за этот период. Коэффициент технического использования представляет собой вероятность того, что изделие будет работать в надлежащем режиме за время *Т*. Таким образом, *К*т.и. определяется двумя основными факторами — надёжностью и ремонтопригодностью.

*Коэффициент оперативной готовности* КОГ определяется как вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени (кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается) и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени.

Из вероятностного определения следует, что

*К*ОГ = *К*Г\**P*(*t*)

*Коэффициент технического использования* характеризует долю времени нахождения элемента в работоспособном состоянии относительно рассматриваемой продолжительности эксплуатации. Период эксплуатации, для которого определяется коэффициент технического использования, должен содержать все виды технического обслуживания и ремонтов. Коэффициент технического использования учитывает затраты времени на плановые и неплановые ремонты, а также регламенты, и определяется по формуле

*K*ти *= t*н/(*t*н *+ tв* *+ tр* *+ t*о),

где *t*н — суммарная наработка изделия в рассматриваемый промежуток времени; *tв*, *tр* и *t*о — соответственно суммарное время, затраченное на восстановление, ремонт и техническое обслуживание изделия за тот же период времени.

**2.2.5 Резервирование систем**

**Резервирование** - метод повышения надёжности объекта введением дополнительных элементов и функциональных возможностей сверх минимально необходимых для нормального выполнения объектом заданных функций. В этом случае отказ наступает только после отказа основного элемента и всех резервных элементов.

Систему можно представить из ряда ступеней, выполняющих отдельные функции. Задача резервирования состоит в нахождении такого числа резервных образцов оборудования на каждой ступени, которое будет обеспечивать заданный уровень надёжности системы при наименьшей стоимости.

Выбор наилучшего варианта зависит главным образом от того увеличения надёжности, которое можно достичь при заданных расходах

**Основной элемент** - элемент основной физической структуры объекта, минимально необходимой для нормального выполнения объектом его задач.

**Резервный элемент** - элемент, предназначенный для обеспечения работоспособности объекта в случае отказа основного элемента.

**Виды резервирования**

**Структурное (элементное) резервирование** - метод повышения надёжности объекта, предусматривающий использование избыточных элементов, входящих в физическую структуру объекта. Обеспечивается подключением к основной аппаратуре резервной таким образом, чтобы при отказе основной аппаратуры резервная продолжала выполнять ее функции.

**Резервирование функциональное** - метод повышения надёжности объекта, предусматривающий использование способности элементов выполнять дополнительные функции вместо основных, и наряду с ними.

**Временное резервирование** - метод повышения надёжности объекта, предусматривающий использование избыточного времени, выделенного для выполнения задач. Другими словами, временное резервирование - такое планирование работы системы, при котором создается резерв рабочего времени для выполнения заданных функций. Резервное время может быть использовано для повторения операции, либо для устранения неисправности объекта.

**Информационное резервирование** - метод повышения надёжности объекта, предусматривающий использование избыточной информации сверх минимально необходимой для выполнения задач.

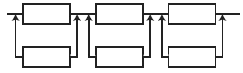
**Нагрузочное резервирование** - метод повышения надёжности объекта, предусматривающий использование способности его элементов воспринимать дополнительные нагрузки сверх номинальных.

С позиций расчёта и обеспечения надёжности технических систем необходимо рассматривать структурное резервирование.

**Способы структурного резервирования**

По способу подключения резервных элементов и устройств различают следующие способы резервирования (рис. 2.10).

Резервирование раздельное (поэлементное) с постоянным включением резервных элементов (рис.2.11).



**Рис. 2.11 Резервирование раздельное с постоянным**

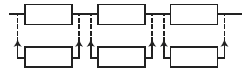
**включением резервных элементов**

Такое резервирование возможно тогда, когда подключение резервного элемента не существенно изменяет рабочий режим устройства. Достоинство его - постоянная готовность резервного элемента, отсутствие затраты времени на переключение. Недостаток - резервный элемент расходует свой ресурс так же, как основной элемент.



**Рис. 2.10 Классификация способов структурного резервирования**

Резервирование раздельное с замещением отказавшего элемента одним резервным элементом (рис. 2.12). Это такой способ резервирования, при котором резервируются отдельные элементы объекта или их группы.



**Рис. 2.12 Резервирование раздельное с замещением**

**отказавшего элемента**

В этом случае резервный элемент находится в разной степени готовности к замене основного элемента. Достоинство этого способа - резервный элемент сохраняет свой рабочий ресурс, либо может быть использован для выполнения самостоятельной задачи. Рабочий режим основного устройства не искажается. Недостаток - необходимость затрачивать время на подключение резервного элемента. Резервных элементов может быть меньше, чем основных.

Отношение числа резервных элементов к числу резервируемых называется кратностью резервирования - *m*. При резервировании с целой кратностью величина *m* есть целое число, при резервировании с дробной кратностью величина *m* есть дробное несокращаемое число. Например, *m*=4/2 означает наличие резервирования с дробной кратностью, при котором число резервных элементов равно четырем, число основных - двум, а общее число элементов равно шести. ***Сокращать дробь нельзя***, так как если *m*=4/2=2/1, то это означает, что имеет место резервирование с целой кратностью, при котором число резервных элементов равно двум, а общее число элементов равно трём.

**При включении резерва по способу замещения резервные элементы до момента включения в работу могут находиться в трёх состояниях:**

- нагруженном («горячем») резерве;

- облегченном («тёплом») резерве;

- ненагруженном («холодном») резерве.

Нагруженный («горячий») резерв - резервный элемент, находящийся в том же режиме, что и основной.

Облегченный («тёплый») резерв - резервный элемент, находящийся в менее нагруженном режиме, чем основной.

Ненагруженный («холодный») резерв - резервный элемент, практически не несущий нагрузок.

Резервирование общее с постоянным подключением, либо с замещением (рис. 2.13). В этом случае резервируется объект в целом, а в качестве резервного - используется аналогичное сложное устройство. Этот способ менее экономен, чем раздельное резервирование. При отказе, например, первого основного элемента возникает необходимость подключать всю технологическую резервную цепочку.

**Рис. 2.13 - Резервирование общее**

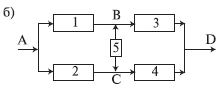
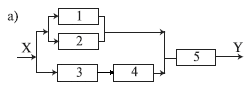
Резервирование мажоритарное ("голосование" *n* из *m* элементов) (рис. 2.14). Этот способ основан на применении дополнительного элемента - его называют мажоритарный или логический или кворум-элемент. Он позволяет вести сравнение сигналов, поступающих от элементов, выполняющих одну и ту же функцию. Если результаты совпадают, тогда они передаются на выход устройства. На рис. 2.14 изображено резервирование по принципу голосования "два из трёх", т.е. любые два совпадающих результата из трёх считаются истинными и проходят на выход устройства. Можно применять соотношения три из пяти и др. Главное достоинство этого способа - обеспечение повышения надёжности при любых видах отказов работающих элементов. Любой вид одиночного отказа элемента не окажет влияния на выходной результат.

Эффективно в системах управления процессами.

**Рис. 2.14 - Резервирование мажоритарное**

**2.2.6 Типовые структуры расчета надёжности**

Под структурной схемой надёжности понимается наглядное представление (графическое или в виде логических выражений) условий, при которых работает или не работает исследуемый объект (система, устройство, технический комплекс и т.д.). Типовые структурные схемы представлены на рис. 2.15.



**Рис. 2.15 - Типовые структуры расчёта надёжности**

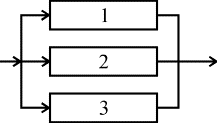
Простейшей формой структурной схемы надёжности является параллельно-последовательная структура. На ней параллельно соединяются элементы, совместный отказ которых приводит к отказу. В последовательную цепочку соединяются такие элементы, отказ любого из которых приводит к отказу объекта.

На рис. 2.15,а представлен вариант параллельно-последовательной структуры. По этой структуре можно сделать следующее заключение. Объект состоит из пяти частей. Отказ объекта наступает тогда, когда откажет или элемент 5, или узел, состоящий из элементов 1-4. Узел может отказать тогда, когда одновременно откажет цепочка, состоящая из элементов 3,4 и узел, состоящий из элементов 1,2. Цепь 3-4 отказывает, если откажет хотя бы один из составляющих ее элементов, а узел 1,2 - если откажут оба элемента, т.е. элементы 1,2. Расчёт надёжности при наличии таких структур отличается наибольшей простотой и наглядностью.

В тех случаях, когда условие работоспособности не удаётся представить в виде простой параллельно-последовательной структуры используют или логические функции, или графы и ветвящиеся структуры, по которым оставляются системы уравнений работоспособности.

**2.2.6.1 Расчёт надёжности, основанный на использовании параллельно-последовательных структур**

На рис. 2.16 представлено параллельное соединение элементов 1, 2, 3. Это означает, что устройство, состоящее из этих элементов, переходит в состояние отказа после отказа всех элементов при условии, что все элементы системы находятся под нагрузкой, а отказы элементов статистически независимы.



**Рис. 2.16. Блок-схема системы с параллельным соединением элементов**

Условие работоспособности устройства можно сформулировать следующим образом: устройство работоспособно, если работоспособен элемент 1 или элемент 2, или элемент 3, или элементы 1 и 2, 1; и 3, 2; и 3, 1; и 2; и 3.

Вероятность безотказного состояния устройства, состоящего из *n* параллельно соединённых элементов определяется по теореме сложения вероятностей совместных случайных событий как

,

т.е. при параллельном соединении независимых (в смысле надёжности) элементов их ненадёжности () перемножаются.

Интенсивность отказов (при интенсивности отказов элементов λ*i*), определяется как

.

В случае, когда интенсивности отказов всех элементов одинаковы, среднее время безотказной работы системы *Т*0

.

#### 2.2.6.2 Включение резервного оборудования системы замещением

В данной схеме включения *n* одинаковых образцов оборудования только один находится все время в работе (рис. 2.17). Когда работающий образец выходит из строя, его непременно отключают, и в работу вступает один из резервных (запасных) элементов. Этот процесс продолжается до тех пор, пока все резервные образцы не будут исчерпаны.



**Рис. 2.17 - Блок-схема системы включения резервного оборудования замещением**

Примем для этой системы следующие допущения:

1. Отказ системы происходит, если откажут все *n* элементов.

2. Вероятность отказа каждого образца оборудования не зависит от состояния остальных (*n*-1) образцов (отказы статистически независимы).

3. Отказывать может только оборудование, находящееся в работе, и условная вероятность отказа в интервале (*t*, *t+dt)* равна *λdt*; запасное оборудование не может выходить из строя до того, как оно будет включено в работу.

4. Переключающие устройства считаются абсолютно надёжными.

5. Все элементы идентичны. Резервные элементы имеют характеристики как новые.

Система способна выполнять требуемые от нее функции, если исправен по крайней мере один из *n* образцов оборудования. В этом случае при экспоненциальном законе и «холодном» резерве надёжность равна просто сумме вероятностей состояний системы, исключая состояние отказа, т.е.



***т –* кратность резервирования*.***

,

Где *λ* и *Т*0 – ИО и средняя наработка до первого отказа основного устройства.

При «горячем» резерве –

, 

**2.3 Методы обеспечения надёжности сложных систем**

**2.3.1 Конструктивные способы обеспечения надёжности**

Одной из важнейших характеристик сложных технических систем является их надёжность. Требования к количественным показателям надёжности возрастают тогда, когда отказы технической системы приводят к большим затратам материальных средств, либо угрожают безопасности (например, при создании атомных лодок, самолётов или изделий военной техники). Один из разделов технического задания на разработку системы - раздел, определяющий требования к надёжности. В этом разделе указывают количественные показатели надёжности, которые необходимо подтверждать на каждом этапе создания системы.

На этапе разработки технической документации, являющейся комплектом чертежей, технических условий, методик и программ испытаний, выполнение научно-исследовательских расчётов, подготовки эксплуатационной документации и обеспечение надёжности осуществляют способами рационального проектирования и расчётно-экспериментальными методами оценки надёжности.

Существуют несколько методов, с помощью которых можно повысить конструктивную надёжность сложной технической системы. Конструктивные методы повышения надёжности предусматривают создание запасов прочности металлоконструкций, облегчение режимов работы электроавтоматики, упрощение конструкции, использование стандартных деталей и узлов, обеспечение ремонтопригодности, обоснованное использование методов резервирования.

Анализ и прогнозирование надёжности на стадии проектирования даёт необходимые данные для оценки конструкции. Такой анализ проводят для каждого варианта конструкции, а также после внесения конструктивных изменений. При обнаружении конструктивных недостатков, снижающих уровень надёжности системы, проводят конструктивные изменения и корректируют техническую документацию.

**2.3.2 Технологические способы обеспечения надёжности изделий в процессе изготовления**

Одним из основных мероприятий на стадии серийного производства, направленных на обеспечение надёжности технических систем, является стабильность технологических процессов. Научно обоснованные методы управления качеством продукции позволяют своевременно давать заключение о качестве выпускаемых изделий. На предприятиях промышленности применяют два метода статистического контроля качества: текущий контроль технологического процесса и выборочный метод контроля.

Метод статистического контроля (регулирования) качества позволяет своевременно предупреждать брак в производстве и, таким образом, непосредственно вмешиваться в технологический процесс.

Выборочный метод контроля не оказывает непосредственного влияния на производство, так как он служит для контроля готовой продукции, позволяет выявить объём брака, причины его возникновения в технологическом процессе или же качественные недостатки материала.

Анализ точности и стабильности технологических процессов позволяет выявить и исключить факторы, отрицательно влияющие на качество изделия. В общем случае, контроль стабильности технологических процессов можно проводить следующими методами: графоаналитическим с нанесением на диаграмму значений измеряемых параметров; расчётностатистическим для количественной характеристики точности и стабильности технологических процессов; а также прогнозирования надёжности технологических процессов на основе количественных характеристик приведенных отклонений.

**2.3.3 Обеспечение надёжности сложных технических систем в условиях эксплуатации**

Надёжность технических систем в условиях эксплуатации определяется рядом эксплуатационных факторов, таких как, квалификация обслуживающего персонала, качество и количество проводимых работ по техническому обслуживанию, наличие запасных частей, использование измерительной и проверочной аппаратуры, а также наличие технических описаний и инструкций по эксплуатации.

В первом приближении можно принять, что все отказы, возникающие в процессе эксплуатации, являются независимыми. Поэтому надёжность всей системы при предположении независимости отказов равна:

*Р* = *Р*1\* *Р*2\* *Р*3

где *Р*1; *Р*2; *Р*3 - вероятности безотказной работы системы соответственно по непрогнозируемым внезапным отказам, внезапным отказам, которые могут быть предотвращены при своевременном техническом обслуживании, и постепенным отказам.

Одной из причин отсутствия отказов элементов системы является качественное техническое обслуживание, которое направлено на предотвращение прогнозируемых внезапных отказов. Вероятность безотказной работы системы, обусловленная качеством обслуживания, равна:



где *Piоб* – вероятность безотказной работы *i*–го элемента, связанная с техническим обслуживанием.

По мере совершенствования обслуживания значение вероятности безотказной работы *Роб* приближается к единице.

Замена элементов с возрастающей во времени интенсивностью отказов возможна во всех сложных технических системах. С целью уменьшения во времени интенсивности отказов вводят техническое обслуживание системы, которое позволяет обеспечить поток отказов у сложных систем с конечной интенсивностью в течение заданного срока эксплуатации, т.е. сделать близким к постоянному.

В процессе эксплуатации при техническом обслуживании интенсивность отказов системы, с одной стороны, имеет тенденцию к увеличению, а с другой стороны, - тенденцию к уменьшению в зависимости от того, на каком уровне проведено обслуживание. Если техническое обслуживание проведено качественно, то интенсивность отказов уменьшается, а если это обслуживание проведено плохо, то увеличивается.

Используя накопленный опыт, можно всегда выбрать тот или иной объем функционирования, который обеспечит нормальную работу системы до очередного технического обслуживания с заданной вероятностью безотказной работы. Или, наоборот, задаваясь последовательностью объемов функционирования, можно определить приемлемые сроки проведения технического обслуживания, обеспечивающего работу системы на заданном уровне надёжности.

**2.3.4 Пути повышения надёжности сложных технических систем при эксплуатации**

Для повышения надёжности сложных технических систем в условиях эксплуатации проводят ряд мероприятий, которые можно подразделить на следующие четыре группы:

1) разработку научных методов эксплуатации;

2) сбор, анализ и обобщение опыта эксплуатации;

3) связь проектирования с производством изделий;

4) повышение квалификации обслуживающего персонала.

Научные методы эксплуатации включают в себя научно обоснованные методы подготовки изделия к работе, проведения технического обслуживания, ремонта и других мероприятий по повышению надёжности сложных технических систем в процессе их эксплуатации. Порядок и технологию проведения этих мероприятий описывают в соответствующих руководствах и инструкциях по эксплуатации конкретных изделий. Более качественное выполнение эксплуатационных мероприятий по обеспечению надёжности изделий машиностроения обеспечивается результатами статистического исследования надёжности этих изделий. При эксплуатации изделий большую роль играет накопленный опыт. Значительную часть опыта эксплуатации используют для решения частных организационно-технических мероприятий. Однако накопленные данные необходимо использовать не только для решения задач сегодняшнего дня, но и для создания будущих изделий с высокой надёжностью.

Большое значение имеет правильная организация сбора сведений об отказах. Содержание мероприятий по сбору таких сведений определяется типом изделий и особенностями эксплуатации этих изделий. Возможными источниками статистической информации могут быть сведения, полученные по результатам различных видов испытаний и эксплуатации, которые оформляются периодически в виде отчетов о техническом состоянии и надёжности изделий.

Изучение особенностей их поведения дает возможность использовать накопленные данные для проектирования будущих изделий. Таким образом, сбор и обобщение данных об отказах изделий - одна из важнейших задач, на которую должно быть обращено особое внимание.

Эффективность эксплуатационных мероприятий во многом зависит от квалификации обслуживающего персонала. Однако влияние этого фактора неодинаково. Так, например, при выполнении в процессе обслуживания довольно простых операций влияние высокой квалификации работника сказывается мало, и наоборот, квалификация обслуживающего персонала играет большую роль при выполнении сложных операций, связанных с принятием субъективных решений (например, при регулировании клапанов и систем зажигания в автомобилях, при ремонте телевизора и т.д.).

**2.3.5 Организационно-технические методы по восстановлению и поддержанию надёжности техники при эксплуатации**

Известно, что в процессе эксплуатации изделие определенное время используют по назначению для выполнения соответствующей работы, некоторое время она транспортируется и хранится, а часть времени идет на техническое обслуживание и ремонт. При этом для сложных технических систем в нормативно-технической документации устанавливают виды технических обслуживании (TO-1, TO-2,...) и ремонтов (текущий, средний или капитальный).

На стадии эксплуатации изделий проявляются технико-экономические последствия низкой надёжности, связанные с простоями техники и затратами на устранение отказов и приобретение запасных частей. С целью поддержания надёжности изделий на заданном уровне в процессе эксплуатации необходимо проводить комплекс мероприятий, который может быть представлен в виде двух групп — мероприятия по соблюдению правил и режимов эксплуатации; мероприятия по восстановлению работоспособного состояния.

К **первой** группе мероприятий относятся обучение обслуживающего персонала, соблюдение требований эксплуатационной документации, последовательности и точности проводимых работ при техническом обслуживании, диагностический контроль параметров и наличие запасных частей, осуществление авторского надзора и т.п.

К основным мероприятиям **второй** группы относятся корректирование системы технического обслуживания, периодический контроль за состоянием изделия и определение средствами технического диагностирования остаточного ресурса и предотказного состояния, внедрение современной технологии ремонта, анализ причин отказов и организация обратной связи с разработчиками и изготовителями изделий.

Многие изделия значительную часть времени эксплуатации находятся в состоянии хранения, т.е. не связаны с выполнением основных задач. Для изделий, работающих в таком режиме, преобладающая часть отказов связана с коррозией, а также воздействием пыли, грязи, температуры и влаги. Для изделий, находящихся значительную часть времени в эксплуатации, преобладающая часть отказов связана с износом, усталостью или механическим повреждением деталей и узлов. В состоянии простоя интенсивность отказов элементов существенно меньше, чем в рабочем состоянии. Так, например, для электромеханического оборудования это соотношение соответствует 1:10, для механических элементов это соотношение составляет 1:30, для электронных элементов 1:80.

Необходимо отметить, что с усложнением техники и расширением областей её использования возрастает роль этапа эксплуатации техники в суммарных затратах на создание и использование технических систем. Затраты на поддержание в работоспособном состоянии за счет технических обслуживании и ремонтов превышают стоимость новых изделий в следующее число раз: тракторов и самолетов в 5-8 раз; металлорежущих станков в 8-15 раз; радиоэлектронной аппаратуры в 7-100 раз.

Техническая политика предприятий должна быть направлена на снижение объемов и сроков проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту техники за счет повышения надёжности и долговечности основных узлов.

Консервация машины в состоянии поставки помогает сохранить её работоспособность, как правило, в течение 3-5 лет. Для поддержания надёжности машины в процессе эксплуатации на заданном уровне объем производства запасных частей должен составлять 25-30 % стоимости машин.