

## 1.2. Надежность как свойство технического объекта

### Основные термины и определения теории надежности

Понятие надежности связано со способностью технического средства выполнять возложенные на него функции в течение требуемого времени и с требуемым качеством. С первых шагов развития техники стояла задача сделать техническое устройство таким, чтобы оно работало надежно. С развитием и усложнением техники усложнялась и развивалась проблема ее надежности. Для решения ее потребовалась разработка научных основ нового научного направления - науки о надежности.

Надежность характеризует качество технического средства. Качество - совокупность свойств, определяющих пригодность изделия к использованию по назначению и его потребительские свойства. **Надежность** - комплексное свойство технического объекта, которое состоит в его способности выполнять заданные функции, сохраняя свои основные характеристики в установленных пределах. Понятие надежности включает в себя *безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохранность*. Надежность использует понятие объекта. Объектом исследования надежности (как науки) является то или иное техническое средство: отдельная деталь, узел машины, агрегат, машина в целом, изделие и др.

Объект характеризуется **качеством**. Надежность является составляющим показателем качества объекта. Чем выше надежность объекта, тем выше его качество.

**Работоспособный объект** - объект, который может выполнять возложенные на него функции в условиях эксплуатации, определенных для данного объекта. Работоспособный объект находится в работоспособном состоянии.

**Работоспособное состояние** - состояние объекта, при котором значение всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Неработоспособное состояние** состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего его способность выполнять заданные функции, не соответствует нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

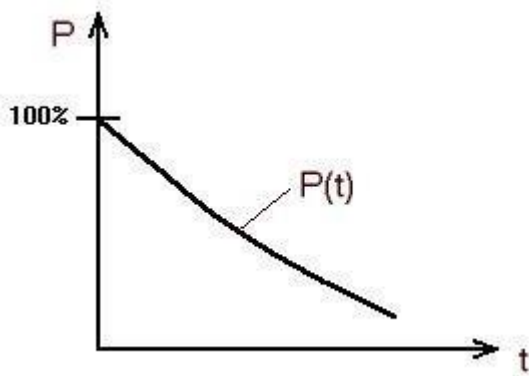
**Отказ** - переход объекта из работоспособного состояния в неработоспособное.

**Восстановление** - возвращение объекту работоспособного состояния. Восстановление осуществляется путем ремонта объекта.

**Надежность объекта** - совокупность свойств, определяющих возможность объекта сохранять работоспособность в определенных режимах и условиях эксплуатации и его приспособленность к восстановлению в случае отказа.

Численная оценка надежности - вероятность  $P$  нахождения объекта в работоспособном состоянии в данный момент времени  $t$ . Эта вероятность с течением времени изменяется по некоторому закону  $P(t)$  (рис. 2.1). Вероятность работоспособного состояния  $P$  объекта связана с вероятностью отказа  $Q$ :  $P = 1 - Q$ .

**Рисунок 2.1. Зависимость вероятности нахождения объекта в работоспособном состоянии от времени**



## Жизненный цикл объекта

Объект характеризуется жизненным циклом. Жизненный цикл объекта состоит из ряда стадий: проектирование объекта, изготовление объекта, эксплуатация объекта. Каждая из этих стадий жизненного цикла влияет на надежность изделия. На стадии проектирования объекта закладываются основы его надежности. На надежность объекта влияют: выбор материалов (прочность материалов, износостойкость материалов), запасы прочности деталей и конструкции в целом, удобство сборки и разборки (определяет трудоемкость последующих ремонтов), механическая и тепловая напряженность конструктивных элементов, резервирование важнейших или наименее надежных элементов и другие меры.

На стадии изготовления надежность определяется выбором технологии производства, соблюдением технологических допусков, качеством обработки сопрягаемых поверхностей, качеством используемых материалов, тщательностью сборки и регулировки.

На стадии проектирования и изготовления определяются конструктивно-технологические факторы, влияющие на надежность объекта. Действие этих факторов выявляется на стадии эксплуатации объекта. Кроме того, на этой стадии жизненного цикла объекта на его надежность влияют и эксплуатационные факторы.

Эксплуатация оказывает решающее влияние на надежность объектов, особенно сложных. Надежность объекта при эксплуатации обеспечивается путем:

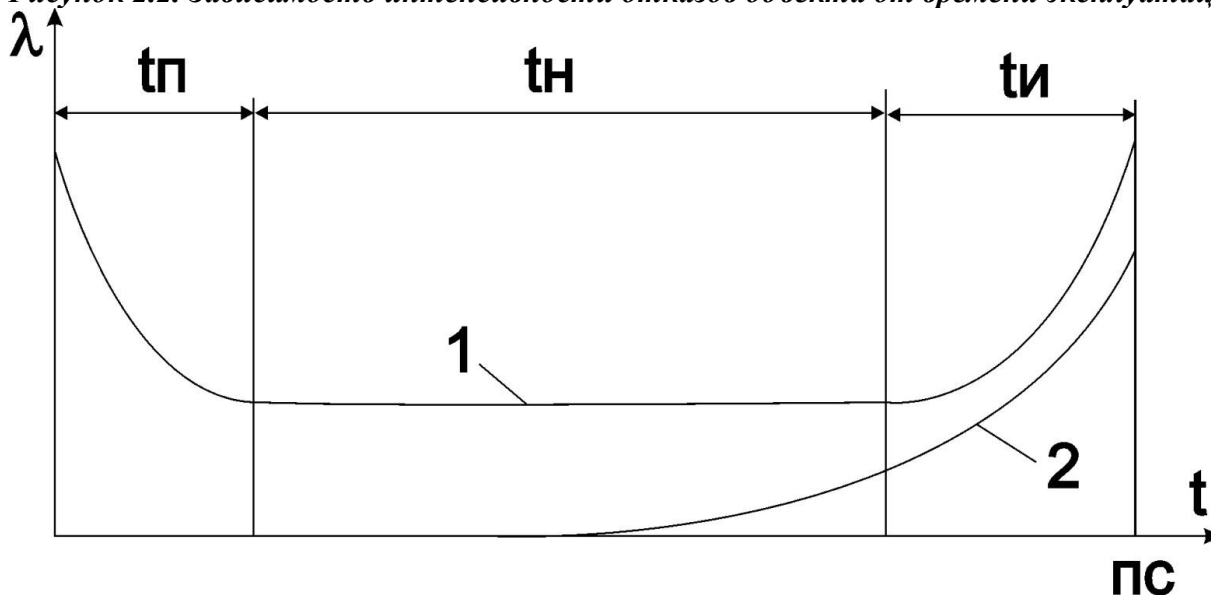
- соблюдение условий и режимов эксплуатации (смазка, нагрузочные режимы, температурные режимы и др.);
- проведение периодических технических обслуживаний с целью выявления и устранения возникающих неполадок и поддержания объекта в работоспособном состоянии;
- систематическая диагностика состояния объекта, выявление и предупреждение отказов, снижение вредных последствий отказов;
- проведение профилактических восстановительных ремонтов.

Основной причиной снижения надежности в процессе эксплуатации являются износ и старение компонентов объекта. Износ приводит к изменению размеров, нарушению работоспособности (из-за ухудшения условий смазки, например), поломкам, снижению прочности и т.д. Старение приводит к изменению физико-механических свойств материалов, влекущему поломки или отказы.

Условия эксплуатации назначаются такими, чтобы максимально снизить износ и старение: например, износ возрастает в условиях дефицита или низкого качества смазки. Старение возрастает при выходе температурных режимов за допустимые (например, уплотнительные прокладки, клапаны и т.д.).

Надежность объекта на стадии эксплуатации можно иллюстрировать графиком типичной зависимости интенсивности отказов объекта от времени эксплуатации, представленном на рисунке 2.2.

**Рисунок 2.2. Зависимость интенсивности отказов объекта от времени эксплуатации**

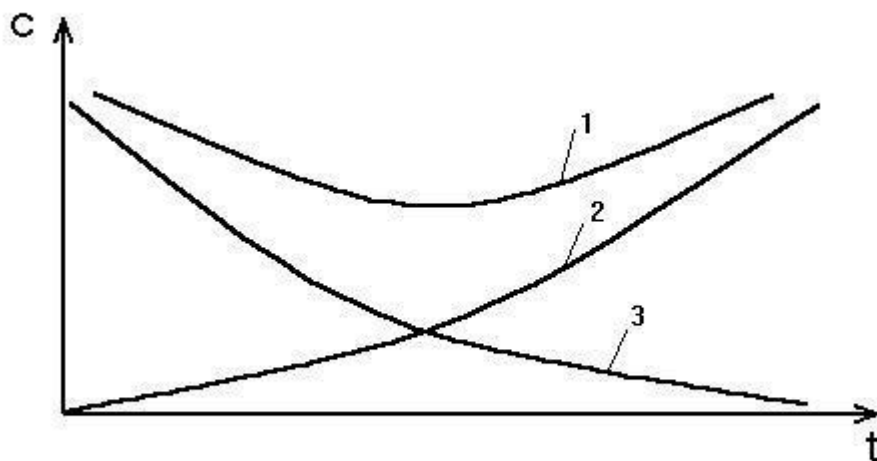


На рисунке 2.2 показано: 1 – интенсивность отказов  $\lambda(t)$ ; 2 – кривая старения;  $t_p$  – период приработки;  $t_n$  – нормальная работа;  $t_i$  – период износа. В период приработки надежность, в первую очередь, определяется конструктивно-технологическими факторами, что ведет к повышенной интенсивности отказов. По мере выявления и устранения этих факторов надежность объекта приводится к номинальному уровню, который сохраняется в продолжительном периоде  $t_n$  нормальной эксплуатации.

В течение эксплуатации в объекте накапливаются проявления износа и усталости, интенсивность которых возрастает с увеличением срока эксплуатации объекта (возрастающая кривая 2 на рисунке 2.2). Наступает период  $t_i$  интенсивного износа объекта, который заканчивается его приходом в предельное состояние и снятием с эксплуатации.

Ежегодные затраты на эксплуатацию характеризуются графиками на рисунке 2.3, где 1 – суммарные затраты; 2 – затраты на ремонт; 3 – затраты на амортизацию. Из графиков видно, что существует оптимальный срок эксплуатации объекта, при котором суммарные затраты на эксплуатацию минимальны. Продолжительная эксплуатация, существенно превышающая оптимальный срок экономически невыгодна.

**Рисунок 2.3. Ежегодные затраты на эксплуатацию**



## Поддержание надежности объекта при эксплуатации

Поддержание требуемого уровня надежности технических объектов в процессе эксплуатации осуществляется путем проведения комплекса организационно-технических мероприятий. Сюда входят периодические технические обслуживания, профилактические и восстановительные ремонты. Периодические технические обслуживания направлены на своевременные регулировки, устранение причин отказов, раннее выявление отказов.

В периодические технические обслуживания проводятся в установленные сроки и в установленном объеме технические осмотры (ежедневные), еженедельное, ежемесячное, сезонное и др. техническое обслуживание (регламент). Задачей любого ТО является проверка контролируемых параметров, регулировка в случае необходимости, выявление и устранение неисправностей, замена элементов, предусмотренная эксплуатационной документацией.

Порядок выполнения несложных работ определяется инструкциями по техническому обслуживанию, а порядок выполнения сложных работ - технологическими картами.

В процессе технических обслуживаний обычно осуществляется и диагностика состояния эксплуатируемого объекта (в том или ином объеме). Диагностика заключается в контроле состояния объекта с целью выявления и предупреждения отказов. Осуществляется диагностика с помощью диагностических средств контроля, которые могут быть встроенными и внешними. Встроенные средства позволяют осуществлять непрерывный контроль. С помощью внешних средств осуществляется периодический контроль.

В результате диагностики выявляются отклонения параметров объекта и причины этих отклонений. Определяется конкретное место неисправности. Решается задача прогнозирования состояния объекта и принимается решение о его дальнейшей эксплуатации.

Объект считается работоспособным, если его состояние позволяет ему выполнять возложенные на него функции. Если в процессе эксплуатации характеристики объекта или его структура недопустимо изменились, то говорят, что в объекте возникла неисправность. Возникновение неисправности нельзя отождествлять с потерей объектом работоспособности. Однако в неработоспособном объекте всегда будет иметь место неисправность.

Для восстановления показателей надежности объекта при их снижении проводятся профилактические и восстановительные ремонты. Восстановительные ремонты служат для восстановления работоспособности объекта после отказа и поддержания заданного уровня его надежности путем замены деталей и узлов, потерявших свой уровень надежности или отказавших.

Количество ремонтов определяется экономической целесообразностью. Типичная зависимость вероятности безотказной работы ремонтируемого объекта от времени эксплуатации

показана на рисунке 2.4. На рисунке приняты следующие обозначения:  $P$  - вероятность безотказной работы объекта,  $P_{min}$  - минимально допустимый уровень надежности,  $N$  - число заменяемых при ремонте элементов объекта.

Очередной ремонт не позволяет достичь исходного уровня надежности объекта и срок эксплуатации объекта после этого ремонта будет меньше, чем после предыдущего ремонта. Таким образом, эффективность каждого последующего ремонта снижается, что влечет необходимость ограничения общего количества ремонтов объекта.

**Рисунок 2.4. Зависимость вероятности безотказной работы ремонтируемого объекта от времени эксплуатации**

