

ЛЕКЦИЯ 2

2.6. Показатели ремонтпригодности, долговечности и сохраняемости

Ремонтпригодность

Вероятность восстановления – это вероятность того, что время (до) восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение.

Среднее время восстановления T_B – это среднее время вынужденного простоя, вызванного процессом отыскания и устранения отказа.

Предположим, что распределение T_B не зависит ни от времени, ни от порядкового номера восстановления, ни от длительности предыдущего восстановления, ни от предшествующей наработки между отказами.

Тогда истинное выражение для среднего времени восстановления

$$T_B = \sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{\Omega} t_{vi}$$

Статистическое выражение для среднего времени восстановления

$$T_B^* = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_{vi}$$

где $\Omega = \sum_{i=1}^n \omega_i$ – суммарный параметр потока отказов системы;

ω_i - параметр потока отказов i -го элемента системы;

t_{vi} - время восстановления системы после i -го отказа;

n – число отказов (восстановлений) за время испытаний или определённый период эксплуатации.

Интенсивность восстановления μ – это условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определённая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

Долговечность

Показателем долговечности системы является её срок службы. Срок службы - это случайная величина, характеризующая календарную продолжительность от начала эксплуатации системы до наступления предельного состояния. Для некоторых систем показателем долговечности является установленный срок службы, который должна достигнуть данная система. В качестве случайной величины при рассмотрении долговечности может быть принят не только календарный срок службы системы, но и её ресурс - наработка от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние.

Ресурс T_p – это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или её возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Средний ресурс T_{cp} – это среднее значение наработки объекта от начала эксплуатации или её возобновления после среднего или капитального ремонта до наступления его предельного состояния (чистое время работы устройства за весь срок существования, определяемое для нескольких технически одинаковых устройств).

Срок службы $T_{\text{сл}}$ - это календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или её возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Средний срок службы $T_{\text{ссл}}$ - это математическое ожидание срока службы.

Под эксплуатацией объекта понимается стадия его существования в распоряжении потребителя при условии применения объекта по назначению, что может чередоваться с хранением, транспортированием, техническим обслуживанием и ремонтом, если это осуществляется потребителем.

Остаточный ресурс - это суммарная наработка объекта от момента контроля его технического состояния до момента достижения им предельного состояния.

Назначенный ресурс $T_{\text{н}}$ - это суммарная наработка объекта, при достижении которой эксплуатация должна быть прекращена независимо от его технического состояния:

$$T_{\text{н}} = t_1 + (t_3 - t_2) + (t_5 - t_4) + (t_7 - t_6) + (t_9 - t_8)$$

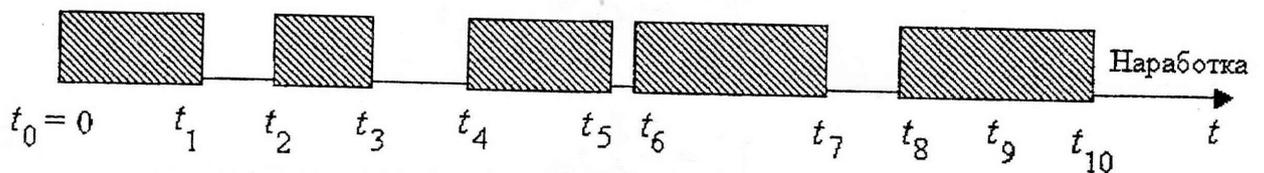


Рис. 2.5. Графическая интерпретация показателей

где $t_0 = 0$ - начало эксплуатации;

t_1, t_5 - моменты отключения по технологическим причинам;

t_2, t_4, t_6, t_8 - моменты включения объекта;

t_3, t_7 - моменты вывода объекта в ремонт средний и капитальный, соответственно;

t_9 - момент прекращения эксплуатации;

t_{10} - момент отказа объекта.

Сохраняемость

Срок сохраняемости - это календарная продолжительность хранения и (или) транспортирования объекта в заданных условиях, в течение и после которой сохраняются значения установленных показателей (в том числе и показателей надёжности) в заданных пределах.

Средний срок сохраняемости - это математическое ожидание срока сохраняемости.

3. РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ

3.1. Постановка задачи расчёта надёжности

Задачей расчёта надёжности является определение количественных показателей, характеризующих безотказность работы в течение определённого, заданного интервала времени t_1 , когда изделие должно работать безотказно

$$T_{\text{ср}} \geq t_1 \text{ или } T_0 \geq t_1,$$

где t_1 - конечное значение заданного интервала времени;

$T_{\text{ср}}$ – средняя наработка до отказа для невосстанавливаемых объектов;

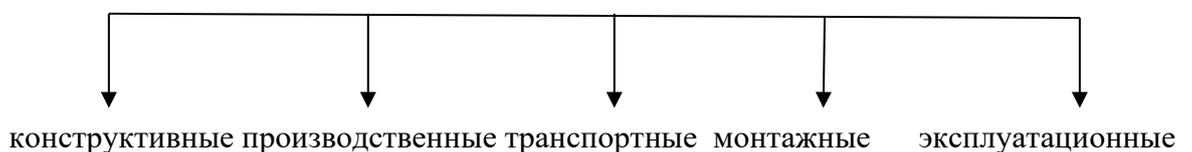
T_0 – средняя наработка между отказами для восстанавливаемых объектов.

При расчёте надёжности удобно определять помимо количественных показателей безотказности и количественные показатели восстанавливаемости. Однако, из-за того, что показатели восстанавливаемости в значительной степени зависят от реальной организации эксплуатации объекта, показатели ремонтпригодности которого не могут быть определены априори достаточно достоверно (поскольку неизвестны условия эксплуатации проектируемого объекта), показатели восстанавливаемости определяются в очень редких случаях, да и то прикидочно.

Полученные в результате расчёта параметры надёжности должны быть правильно проинтерпретированы, что возможно только при учёте проблем, связанных с этим расчётом:

- a) Результаты расчёта нельзя абсолютизировать – они являются условной величиной, определяемой математическими действиями над случайными величинами.
- b) Для расчётного объекта условия эксплуатации могут существенно отличаться от расчётных, для которых они получаются путём статистических наблюдений за реальными объектами при определённых условиях эксплуатации.
- c) Термин «надёжность объекта» может иметь разный смысл для проектировщика и эксплуатационника (например, система электроснабжения подземных потребителей I категории по надёжности электроснабжения должна получать питание по двум кабельным линиям от двух независимых источников питания, что обеспечивает $P(t) \approx 1$, однако с точки зрения эксплуатационника надёжность электроснабжения при этом зависит также от состояния выработок по которым проложены кабели и может оказаться значительно ниже расчётной).
- d) Кроме указанных выше факторов на реальные количественные показатели надёжности могут влиять другие трудно прогнозируемые факторы, из-за чего реальные количественные показатели надёжности могут существенно отличаться от расчётных:

Факторы влияния.



Конструктивные факторы:

- ненадлежащая элементная база;
- просчёты и ошибки в конструкторских решениях и схемах;
- ошибки в программном обеспечении;
- неадекватный учёт эксплуатационных факторов.

Производственные факторы:

- несоответствие оснащения производства решаемым задачам;

- нарушение технологии;
- низкая культура производства;
- низкая квалификация персонала;
- слабый контроль качества изготовления.

Транспортные факторы:

- нарушение правил перевозки;
- нарушений условий хранения.

Монтажные факторы:

- применения для монтажа некачественных или несоответствующих монтажных изделий;
- несоблюдение технологии монтажа;
- слабый контроль за качеством монтажа.

Эксплуатационные факторы:

- наличие ударных, вибрационных и циклических нагрузок;
- возникновение перегрузок;
- сейсмические воздействия;
- воздействие повышенной или пониженной температуры;
- воздействие влажности;
- воздействие пыли, в том числе токопроводящей;
- прочие климатические воздействия;
- воздействие электромагнитных полей;
- биологические воздействия;
- человеческий фактор (наличие вандалов);
- применение изделий в соответствии с их назначением;
- применяемые методы эксплуатации, не отвечающие документации (отсутствие ППР и т. п.);
- квалификация персонала.

Реальные задачи расчёта надёжности можно подразделить на три типа:

- a) **Расчёт надёжности новой системы, не имеющей реальных аналогов:** в этом случае необходимо определить количественные показатели надёжности максимально приближенные к истинным значениям, с учётом как можно большего числа влияющих факторов;
- b) **Расчёт надёжности системы, имеющей реальные аналоги.** В этом случае результаты эксплуатации существующих систем могут быть учтены при расчёте надёжности. В данном случае достаточно получить приближённые значения показателей надёжности сравниваемых вариантов систем, рассчитанных с учётом условий реальной эксплуатации, для выбора наиболее эффективного решения;
- c) **Расчёт надёжности при реконструкции действующей системы без изменения условий эксплуатации с целью повышения её надёжности:** в этом случае целью расчёта является сравнительная оценка показателей надёжности старой и новой систем, определённых по одной методике и одинаковой базе исходных данных, без поправки на условия эксплуатации.

3.2. Порядок расчёта надёжности

Для решения целей и задач расчёта надёжности с учётом реальных условий эксплуатации применяются разные методики расчёта, однако при любой методике расчёта расчёт ведётся для условий нормальной эксплуатации, когда интенсивность отказов постоянна.

Для расчёта надёжности технических систем принят следующий порядок расчёта:

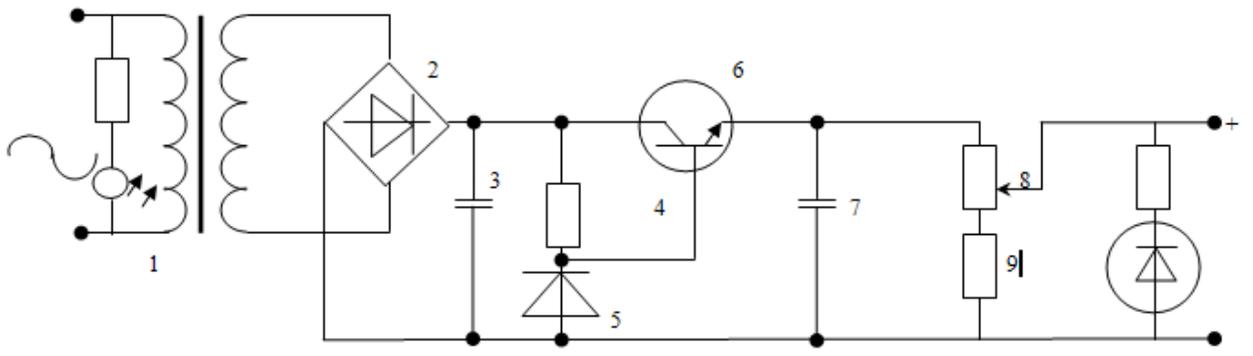
1. Формулируется конкретная задача и цели расчёта.

Например, определить количественные показатели надёжности для проектируемой системы электроснабжения для периода нормальной эксплуатации в качестве одного из вариантов для технико-экономического сравнения.

2. Выделяются элементы, влияющие на работоспособность системы: при этом для выделенного элемента всегда должны быть известны количественные показатели надёжности (по базе данных). Если имеются элементы, по которым показатели надёжности неизвестны, то их обычно объединяют до узла, блока, модуля, устройства, для которых эта информация известна.

Элементы, выполняющие вспомогательные функции (приборы контроля, индикаторы, освещение и т. п.) для расчёта надёжности не учитываются.

Пример 1:



3. Составляется расчётная схема

Выделив элементы, определяющие надёжность, в каждой технической системе, их последовательно соединяют в расчётную схему.

Для этой схемы справедливо выражение:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_1(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

тогда

$$P(t) = e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} \cdot e^{-\lambda_3 t} \cdot \dots \cdot e^{-\lambda_n t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t}$$

4. Составляется график работы системы с указанием длительности работы, на основании которого принимается заданный интервал времени t_1 , для которого

$$P(t_1) = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t_1}$$

5. По специальной литературе (базе данных) принимаются значения интенсивностей отказов для условий нормальной эксплуатации λ и среднего времени

наработки до отказа T_{cp} (наработки между отказами T_0) для каждого элемента расчётной схемы.

6. Применительно к целям расчёта принимается соответствующая методика расчёта надёжности (выбор методики расчёта обусловлен необходимостью корректировки расчёта в случае отличия реальных условий использования системы от тех, для которых определялись рекомендованные значения λ , T_{cp} , (T_0)).

7. По выбранной методике расчёта определяются количественные показатели безотказности:

P_t , Q_t , $f(t)$ (частота отказов), λ (интенсивность отказов), T_{cp} , (средняя наработка до отказа) – для невосстанавливаемых объектов;

P_t , Q_t , $\omega(t)$ (параметр потока отказов), T_0 (средняя наработка между отказами) – для восстанавливаемых объектов.

8. Производится интерпретация результатов расчёта надёжности: оценка полученных результатов в отношении их достаточности, разработка мер по повышению надёжности (после этого необходимо повторение расчёта с учётом принятых мероприятий для подтверждения принятых мер).

3.3. Методики расчёта надёжности

Наиболее просты и применимы к практике следующие методики расчёта надёжности:

- расчёт по среднегрупповым значениям интенсивности отказов λ ;
- расчёт по коэффициентам надёжности;
- расчёт с учётом условий эксплуатации.

3.3.1. Расчёт надёжности по среднегрупповым значениям интенсивности отказов λ (на примере восстанавливаемых систем)

Необходимые исходные условия для выполнения расчёта по данной методике:

- а) должны быть известны значения интенсивности отказов λ , для групп равнонадёжных элементов;
- б) если значения интенсивности отказов приводятся в виде диапазона, то для расчёта принимается среднее значение.

Методика расчёта:

а) Элементы проектируемой системы разбиваются на группы элементов с примерно одинаковыми интенсивностями отказов (группы равнонадёжных элементов). По справочным данным находят значения интенсивности отказов λ для каждой группы.

б) Определяется параметр потока отказов

$$\omega(t) = \sum_{i=1}^n N_i \cdot \lambda_i$$

где N_i – число элементов в i -й группе равнонадёжных элементов;

λ_i – интенсивность отказов элементов в i -й группе равнонадёжных элементов;

n – число групп равнонадёжных элементов.

с) определяется время средней наработки между отказами:

$$T_0 = \frac{1}{\omega(t)}$$

d) если в результате расчёта получается, что время средней наработки между отказами больше или равно заданного времени

$$T_0 \geq t_1$$

то определяются вероятность безотказной работы и вероятность отказа

$$P(t_1) = e^{-\omega(t) \cdot t_1} = e^{-\frac{t_1}{T_0}}$$

$$Q(t_1) = 1 - P(t_1)$$

Если

$$T_0 < t_1$$

то либо корректируется в сторону уменьшения заданное время t_1 (если это выполнимо по условиям эксплуатации), либо принимаются меры к повышению надёжности, т. е. увеличению средней наработки между отказами T_0 .

Достоинство метода: простота.

Недостаток: значительная условность результатов, т. к. средние значения интенсивности отказов, принятые по справочным данным, могут значительно отличаться от реальных, поскольку условия эксплуатации не учитываются.