

Надежность информационно- управляющих систем (ИУС)

Лектор: проф., д.ф.-м.н.,

Карманов Анатолий
Вячеславович

Список литературы

1. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008.
2. Труханов В.М., Матвеев А.М. Надежность сложных систем на всех этапах жизненного цикла – М.: Спектр, 2012.
3. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008.
4. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д. Математические методы в теории надёжности. – М.: Наука, 1965.
5. Федоров Ю.Н. Основы построения АСУ ТП взрывоопасных производств. Москва, Синтег, 2006.
6. Надежность в технике. Термины. ГОСТ 27.002-2015. Изд-во стандартов. М. 2016 (вступает в силу с 01.03.2017г.).
7. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Методы оценки показателей надежности. ГОСТ 27.503-85. Изд-во стандартов. М. 1975.
8. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. ГОСТ 21623-76. Изд-во стандартов. М. 1982.

Основные понятия и определения

(ГОСТ 13377-75)

1. Надежность – свойство технической объекта (в частности ИУС) качественно выполнять возложенные на нее функции в течение определенного интервала времени и в заданных условиях эксплуатации.

Если ИУС – АСУТП, то ее основная функция: контроль и управление ТП с целью получения максимальной экономической выгоды. При этом надо учитывать, что

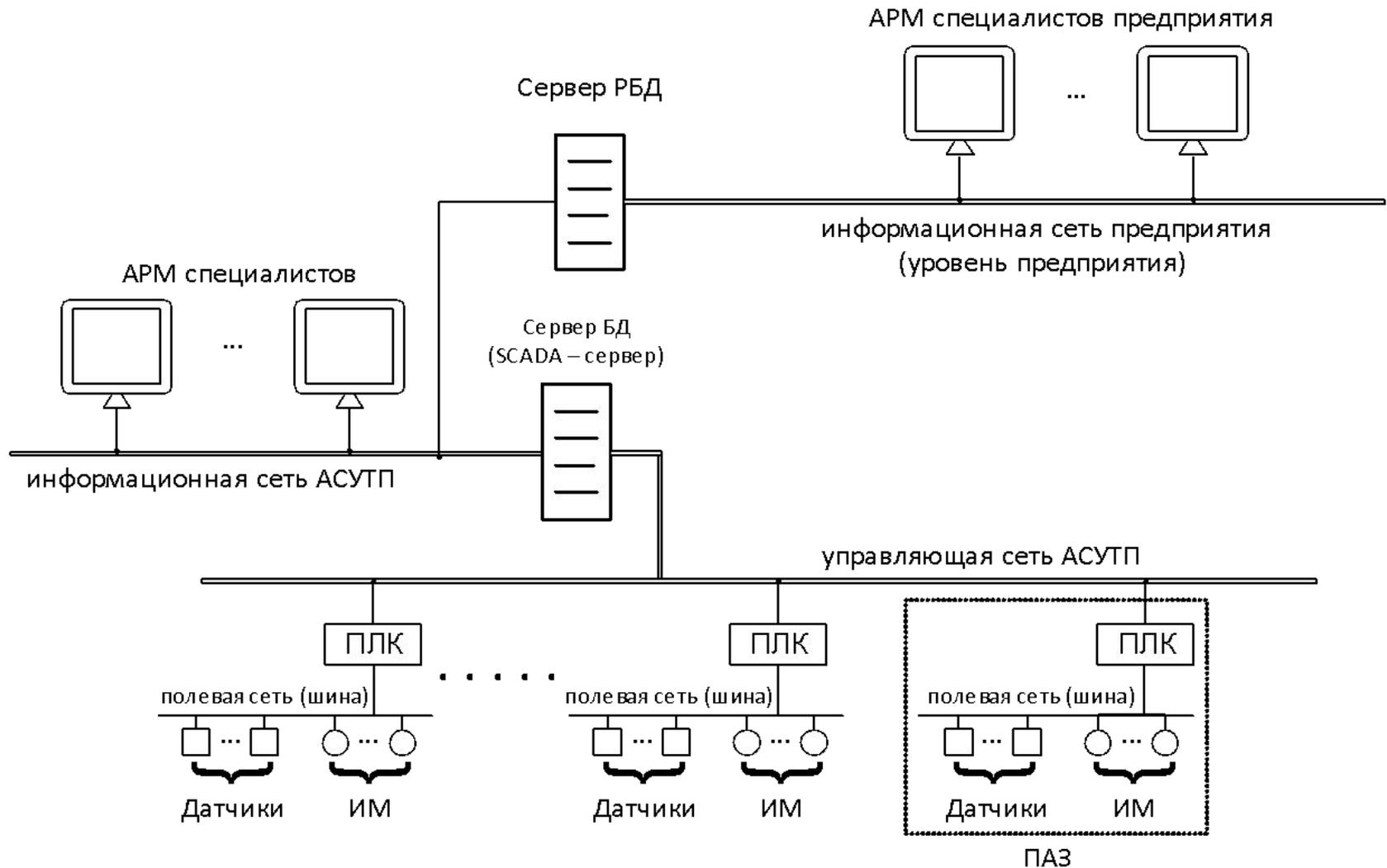
1.1. Отказ ИУС может привести к существенным экономическим потерям, а также к авариям.

1.2. Показатели надежности рассчитываются для:

1) отдельных функций ИУС (АСУТП) : *измерение, управление и сигнализация;*

2) *программного обеспечения* выполнения функций;

ИУС - АСУТП



Основные понятия и определения

2. Надежность - качественная категория и состоит из сочетания ряда свойств, из них основные:

2.1. **Безотказность** – свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение определенного времени.

2.2. **Долговечность** – сохранять работоспособное состояние до наступления *предельного состояния* в заданных условиях эксплуатации.

2.3. **Ремонтопригодность** – свойство объекта, позволяющее предупреждать и обнаруживать отказы и повреждения, а также восстанавливать свои исходные параметры путем проведения технического обслуживания (ППР).

2.4. **Сохраняемость** – свойство объекта сохранять значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортировки.

Основные определения и понятия

Различные состояния объекта и события, происходящие на объекте, описываются в разделах 2 и 3 в ГОСТ 13377-75.

Рассмотрим некоторые основные из них:

1. *Предельное состояние* – состояние объекта, при котором его дальнейшее применение недопустимо или нецелесообразно.
2. *Работоспособное состояние* – при котором значения всех параметров соответствует требованиям технической документации.
3. *Неработоспособное состояние* – при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствуют требованиям технической документации.
4. *Повреждение* – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении ее работоспособности.
5. *Отказ* – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Основные понятия и определения

(раздел 4 - Временные понятия- ГОСТ 13377-75)

1. *Наработка* – продолжительность (объем) работы объекта (с.в.).
2. *Наработка до отказа* – наработка объекта до первого отказа(с.в.).
3. *Наработка между отказами* – наработка от окончания восстановления объекта (после его отказа) до возникновения следующего отказа (с.в.).
4. *Время восстановления* – продолжительность восстановления работоспособного состояния объекта после его отказа (с.в.).
5. *Ресурс* – суммарная наработка объекта от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние (с.в.).
6. *Срок службы* – календарная интервал времени от начала эксплуатации объекта до его перехода в предельное состояние (с.в.).
7. *Назначенный ресурс* – суммарная наработка, при достижении которой эксплуатация объекта прекращается.
8. *Назначенный срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации объекта.

Основные определения и понятия

Техническое обслуживание и ремонт, раздел 5 ГОСТ 13377-75:

1. *Восстановление* – перевод объекта из неработоспособного состояния в работоспособное, как правило осуществляется в результате ремонта.
2. *Восстанавливаемый объект* – объект, для которого восстановление предусмотрено нормативно-технической документацией.
3. *Невосстанавливаемый объект* – восстановление которого не предусмотрено нормативно-технической документацией.

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75:

1. *Показатель надежности* – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.
2. *Расчетный показатель надежности* – показатель надежности, полученный расчетным путем.
3. *Эксплуатационный показатель надежности* – показатель надежности, полученный по данным эксплуатации.

Основные определения и понятия

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Основные определения и понятия

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t) .$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = - dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt .$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Основные определения и понятия

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

11. *Функция готовности* - вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени t (кроме планируемых периодов, в течение которых *применение* объекта не предусматривается, например, консервация объекта). Обычно функция готовности обозначается $k(t)$.

12. *Коэффициент готовности* определяется выражением:

$$k_G = \lim_{t \rightarrow \infty} k(t) \text{ (если этот предел существует)}$$

13. *Коэффициент оперативной готовности* – вероятность того, что объект находится в произвольный момент времени в работоспособном состоянии и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного времени.

14. *Коэффициент технического использования* - отношение м.о. суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к м.о. суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период.

Основные определения и понятия

Показатели надежности, раздел 7 ГОСТ 13377-75

1. *Резервирование* - способ обеспечения надежности объекта за счет использования дополнительных средств и возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций.
2. *Резерв* – совокупность дополнительных средств и/или возможностей, используемых для резервирования.
3. *Основной элемент* – элемент объекта, необходимый для выполнения требуемых функций без использования резерва.
4. *Резервный элемент* – элемент, предназначенный для выполнения функций основного элемента.
5. *Нагруженный резерв* – резерв, который содержит один или несколько элементов, находящихся в рабочем режиме основного элемента.

Основные определения и понятия

Показатели надежности, раздел 7 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

6. Ненагруженный резерв - резерв, который содержит один или несколько элементов, находящихся в ненагруженном режиме до начала выполнения ими функций основного элемента.

Испытания на надежность, раздел 10 ГОСТ 13377-75.

- 1. Испытания на надежность* – испытания с целью получения статистического материала, позволяющего получить репрезентативную оценку показателей надежности объекта.
- 2. Эксплуатационные испытания* – испытания, проводимые в условиях эксплуатации объекта по целевому назначению.
- 3. План испытаний* – совокупность правил, устанавливающий объем выборки, порядок проведения, критерии их завершения и принятия решений по результатам испытаний.

Основные определения и понятия

Показатели надежности, раздел 7 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

6. *Ненагруженный резерв* - резерв, который содержит один или несколько элементов, находящихся в ненагруженном режиме до начала выполнения ими функций основного элемента.

Испытания на надежность, раздел 10 ГОСТ 13377-75.

1. *Испытания на надежность* – испытания с целью получения статистического материала, позволяющего получить репрезентативную оценку показателей надежности объекта.
2. *Эксплуатационные испытания* – испытания, проводимые в условиях эксплуатации объекта по целевому назначению.
3. *План испытаний* – совокупность правил, устанавливающий объем выборки, порядок проведения, критерии их завершения и принятия решений по результатам испытаний.

**Показатели надежности
невосстанавливаемых
объектов.**

Показатели надежности невосстанавливаемого объекта

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность – $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Показатели надежности невосстанавливаемого объекта, свойства и их статистическая оценка

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t) .$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = - dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt .$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Показатели надежности невосстанавливаемого объекта, свойства и их статистическая оценка (продолжение)

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $\mathbf{P}(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = \mathbf{P}(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = \mathbf{P}(T < t) = 1 - p(t) .$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $\mathbf{M}(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = - dp(t)$, имеем:

$$\mathbf{M}(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt .$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Показатели надежности восстанавливаемого объекта и их свойства

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Показатели надежности восстанавливаемого объекта и их свойства (продолжение 1)

4. $\omega_B(t) = dN_B(t) / dt$ – параметр потока восстановлений, $N_B(t)$ – среднее значение числа восстановлений объекта в интервале времени $[0, t]$;
 $\omega_B(t) \cdot \Delta t = P[B(t, \Delta t)]$ – вероятность события, состоящего в том, что произошло восстановление объекта в интервале $[t, t + \Delta t]$.
5. $k(t)$ – функция готовности, $k(t) = dT(t) / dt$, где $T(t)$ – средняя наработка объекта в интервале времени $[0, t]$. Функция готовности $k(t)$ представляет собой вероятность $P[C(t)]$, где $C(t)$ – событие, состоящее в том, что объект находится в рабочем состоянии в момент времени t .
6. k_r – коэффициент готовности или $k_r = \lim_{t \rightarrow \infty} k(t)$ (если этот предел существует). В частности, k_r всегда существует, если в результате ремонта объекта происходит *полное восстановление* его надежности характеристик и тогда
- $$k_r = M[T] / (M[T] + M[T_B]). \quad k_p = 1 - k_r = M[T_B] / (M[T] + M[T_B]).$$
7. $k_p(t) = 1 - k(t)$ – функция простоя, $k_p = 1 - k_r$ – коэффициент простоя.

Показатели надежности восстанавливаемого объекта и их свойства (продолжение 2)

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Статистические оценки показателей надежности восстанавливаемого объекта

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность – $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка до отказа* C_t восстанавливаемого объекта в течение времени t

The diagram shows a horizontal timeline starting at 0. Above the timeline, two repair events are shown as boxes. The first event starts at time $t_i^{(1)}$ and ends at $te_i^{(1)}$. The second event starts at $t_i^{(2)}$ and ends at $te_i^{(2)}$. Below the timeline, the total repair time t_i is defined as the sum of individual repair times $t_i^{(j)}$ for $j=1$ to n_i . Similarly, the total repair duration te_i is defined as the sum of individual repair durations $te_i^{(j)}$ for $j=1$ to ns_i . The timeline ends at a point labeled T , with an arrow pointing to the right towards t . The text 'восстановления в течение' is written vertically on the left, and 'наработки до отказов' is written vertically on the right.

$$t_i = \sum_{j=1}^{n_i} t_i^{(j)}$$

$$te_i = \sum_{j=1}^{ns_i} te_i^{(j)}$$

Статистические оценки показателей надежности восстанавливаемого объекта (продолжение 1)

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Статистические оценки показателей надежности восстанавливаемого объекта (продолжение 2)

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Уравнение для вероятностей пребывания объекта в двух состояниях

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $\mathbf{P}(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = \mathbf{P}(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = \mathbf{P}(T < t) = 1 - p(t) .$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $\mathbf{M}(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = - dp(t)$, имеем:

$$\mathbf{M}(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt .$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Уравнение для вероятностей пребывания объекта в двух состояниях (продолжение)

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность – $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Уравнение для вероятностей пребывания объекта, имеющего n состояний

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t) .$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = - dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty,0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt .$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Уравнение для вероятностей пребывания объекта, имеющего n состояний

Показатели надежности, раздел 6 ГОСТ 13377-75 (продолжение)

4. *Вероятность безотказной работы* – вероятность того, что в интервале наработки $[0, t]$ отказ объекта не возникает, т.е. эта вероятность- $P(T \geq t)$, где T – с.в. наработки до отказа объекта, $(T \geq t)$ – событие, состоящее в том, что в интервале $[0, t]$ отказа не было. Эту вероятность как функцию от t в специальной литературе иногда называют функцией надежности и обозначают через $p(t)$, т.е. $p(t) = P(T \geq t)$.

5. *Функция (закон) $q(t)$ распределения с.в. T и*

$$q(t) = P(T < t) = 1 - p(t).$$

6. *Средняя наработка до отказа* – математическое ожидание наработки до отказа, т.е. $M(T)$. При этом, с учетом равенства $dq(t) = -dp(t)$, имеем:

$$M(T) = \int_0^{\infty} t \cdot dq(t) = -\int_0^{\infty} t \cdot dp(t) = t \cdot p(t)|_{(\infty, 0)} + \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} p(t) \cdot dt.$$

7. *Средняя наработка на отказ* – отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа отказов в течение этой наработки.

Уравнение для вероятностей пребывания объекта в 2-х состояниях: работоспособном и неработоспособном

1-ое состояние является работоспособным состоянием;

2-ое – неработоспособное; интенсивность отказа объекта – $\lambda = 1/T$, [1/ч];

Интенсивность восстановления при ремонте - $\mu = 1/Tв$, [1/ч].

Найти: 1) значение функции готовности $k(t)$ и $k(t) = p_1(t)$,

2) значение функции простоя $kп(t) = 1 - k(t)$ и $kп(t) = p_2(t)$.

Уравнения для нахождения функций $p_1(t)$ и $p_2(t)$:

Рассмотрим интервал времени $(t, t + \Delta t)$, тогда

$p_1(t + \Delta t) = p_1(t) \cdot (1 - \lambda \cdot \Delta t) + p_2(t) \cdot \mu \cdot \Delta t$ и, если $\Delta t \rightarrow 0$, то

1) $dp_1(t) / dt = -\lambda \cdot p_1(t) + p_2(t) \cdot \mu$, начальное условие $p_1(0) = 1$;

2) $p_1(t) + p_2(t) = 1$.

Решение:

$k(t) = p_1(t) = \mu / (\mu + \lambda) + \lambda / (\mu + \lambda) \cdot \exp(-(\mu + \lambda) \cdot t)$ и $t \rightarrow \infty$ имеем:

$k(t) = \mu / (\mu + \lambda) = (1/Tв) / [(1/Tв) + (1/T)] = T / (T + Tв)$ - **доля времени.**