
Надежность технических систем и техногенный риск

Лекция № 5

Лекция № 4. Методы расчета систем на надежность

Цель : Рассмотреть основные методы расчета надежности технических систем

Учебные вопросы:

1. Классификация методов расчета систем на надежность.
2. Расчет надежности систем при основном соединении элементов и внезапных отказах.
3. Классификация методов резервирования.
4. Расчет надежности сложных технических систем с резервированием.

1. Классификация методов расчета систем на надежность.

Рассчитать систему на надежность – это значит определить одну или несколько характеристик свойств надежности.

Выбор метода расчета надежности зависит от ряда факторов:

- этапа разработки системы;
- характера отказов элементов;
- способа соединения элементов в системе;
- вида закона распределения времени безотказной работы;
- режима работы элементов;
- восстанавливаемости объекта.

На этапе **проектирования** выполняются следующие виды расчетов надежности:

- расчет норм надежности (распределение требований к надежности элементов системы);
- ориентировочный расчет надежности;
- окончательный (полный) расчет надежности.

На этапе **производства** – расчет надежности проводят по результатам испытаний.

На этапе **эксплуатации** - расчет надежности проводят по результатам эксплуатации.

1. Классификация методов расчета систем на надежность.

Признак классификации	Методы расчета
По характеру отказов	методы расчета при внезапных, постепенных и перемежающихся отказах.
По способу соединения элементов	при основном соединении элементов и при резервном.
По виду закона распределения времени безотказной работы	- при экспоненциальном - при нормальном - Вейбула и др.
По признаку восстанавливаемости	- методы расчета восстанавливаемых объектов; - методы расчета невосстанавливаемых объектов.
По способу анализа	- расчет структурной надежности (элементов); - расчет функциональной надежности.

2. Расчет надежности при основном соединении элементов и внезапных отказах

Расчет надежности сложных систем с основным соединением элементов предполагает, что выход из строя любого элемента схемы вызывает отказ работы системы в целом, т.е. все элемента структурной схемы надежности (СНН) размещены последовательно.



$$P_c(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t) \quad (4.2)$$

$$P_c = p_1 p_2 \dots p_n = \prod_{i=1}^N p_i \quad (4.1)$$

где p_i - вероятность безотказной работы i - элемента,

N – число элементов системы.

Допущения и ограничения: 1. Поток отказов простейший;

2. Все элементы равнонадежны.

- $\lambda_i t$

В силу стационарности потока отказов для i -го элемента: $P_i(t) = e^{-\lambda_i t}$, (4.3)

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t}, \quad (4.4)$$

Где $\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i$ - интенсивность отказа системы; $T_c = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}$ - среднее время безотказной работы системы

2. Расчет надежности при основном соединении элементов и внезапных отказах

Порядка расчета надежности при основном соединении элементов и внезапных отказах:

1. Формулируется понятие отказа данной системы.
2. Составляется структурная схема расчета надежности. На схеме расчета указывается временной интервал работы каждого узла или блока.
3. Составляется таблица расчета надежности.
4. На основании данных таблицы по формулам (4.3) вычисляются количественные характеристики надежности всех блоков.
5. Зависимости $P(t)$ строятся графически. По виду кривых $P(t)$ и значениям других количественных характеристик делается сравнение блоков по их надежности.
6. Вычисляются количественные характеристики надежности всей системы.
7. Полученные в результате расчета данные сравниваются с требуемыми и делается вывод о годности системы в смысле ее надежности.

3. Классификация методов резервирования

3.1. По способу соединения элементов различают: **общее резервирование**, **раздельное** и **смешанное**.

Общее резервирование связано с резервированием всех элементов, входящих в состав основной цепи (рис. 3.1).

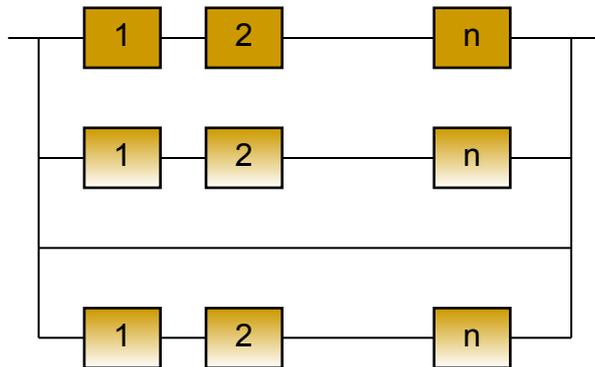


Рисунок 3.1. Общее резервирование с постоянно включенным резервом

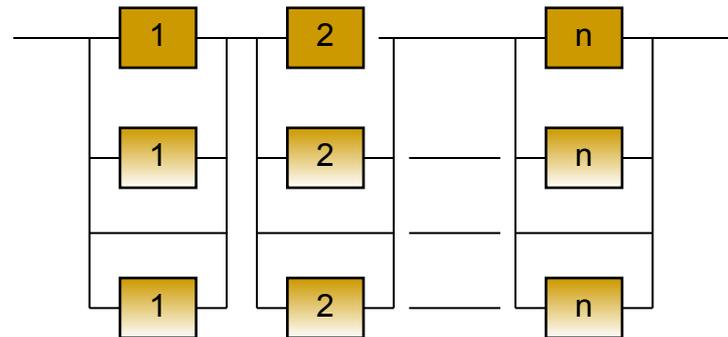


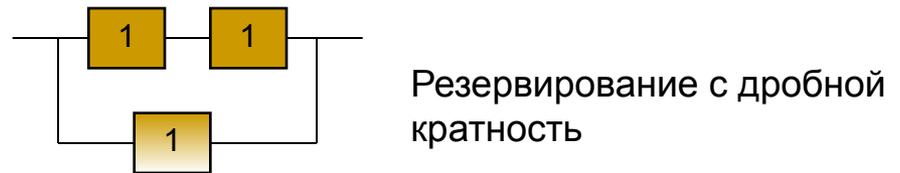
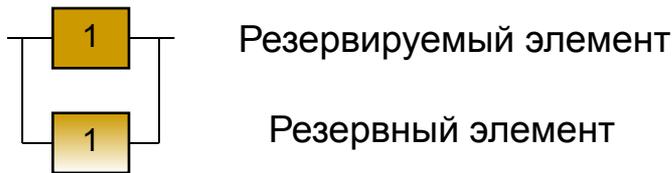
Рисунок 3.2. Раздельное резервирование с постоянно включенным резервом

Раздельное резервирование предполагает резервирование отдельных, как правило, наименее надежных элементов (Рис. 3.2).

Смешанное резервирование предполагает резервирование одних элементов в виде общего, других — в виде раздельного резервирования.

3. Классификация методов резервирования

- **Резервный элемент** – это элемент объекта, предназначенный для выполнения функции основного элемента, в случае его отказа.
- **Резервируемый элемент** – основной элемент, на случай отказа которого в объекте предусмотрен резервный элемент.



Степень избыточности характеризуется кратностью резервирования.

- **Кратность резерва** - это отношение числа резервных элементов объекта к числу резервируемых ими основных элементов, выраженное дробью ($3/1$, $5/2$).
- Резервирование с целой кратностью имеет место, когда основной элемент резервируется одним или более резервными элементами ($2/1$).
- Резервирование, кратность которого равна единицы, называется дублированием ($1/1$).
- Резервирование с дробной кратностью – это такое резервирование, когда два и более однотипных элементов резервируются одним и более резервными элементами ($1/2$, $3/2$).

3. Классификация методов резервирования

3.2. По способу включения резервных элементов различают **постоянное и динамическое** резервирование.

Постоянное резервирование – это резервирование без перестройки структуры объекта при возникновении отказа его элемента (рис. 3.1,3.2).

Динамическое резервирование - это резервирование с перестройкой структуры объекта при возникновении отказа его элемента (рис. 3.3, 3.4).

Разновидности динамического резервирования: **резервирование замещением, скользящее и мажоритарное.**

Резервирование замещением – это динамическое резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента.

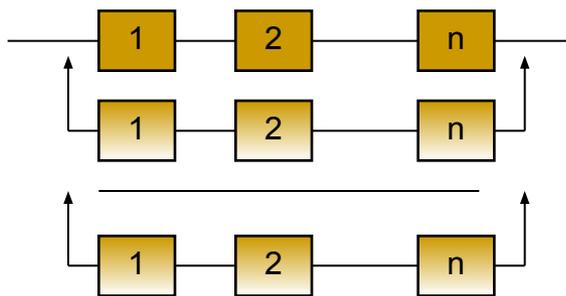


Рисунок 3.3. Общее резервирование с включением резерва замещением

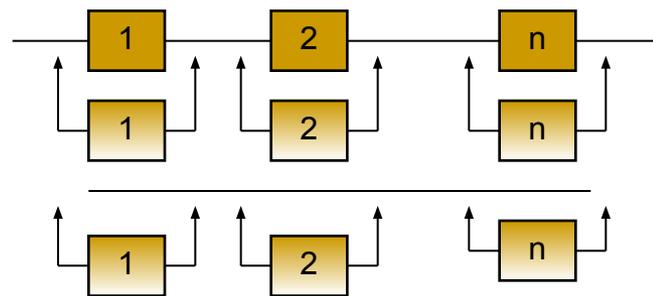


Рисунок 3.4. Раздельное резервирование с включением резерва замещением

3. Классификация методов резервирования

Скольльзящее резервирование - это резервирование замещением, при котором группа основных элементов объекта резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой отказавший основной элемент в данной группе. (рис. 3.5.).

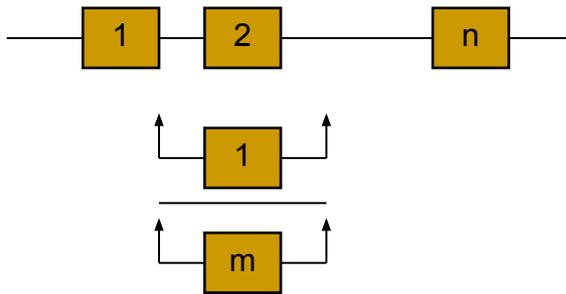


Рисунок 3.5. Раздельное резервирование с включением резерва замещением

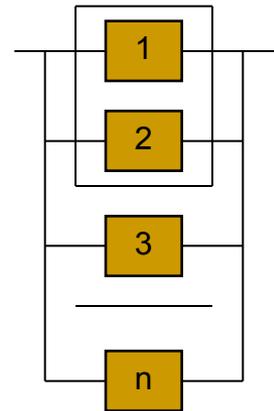


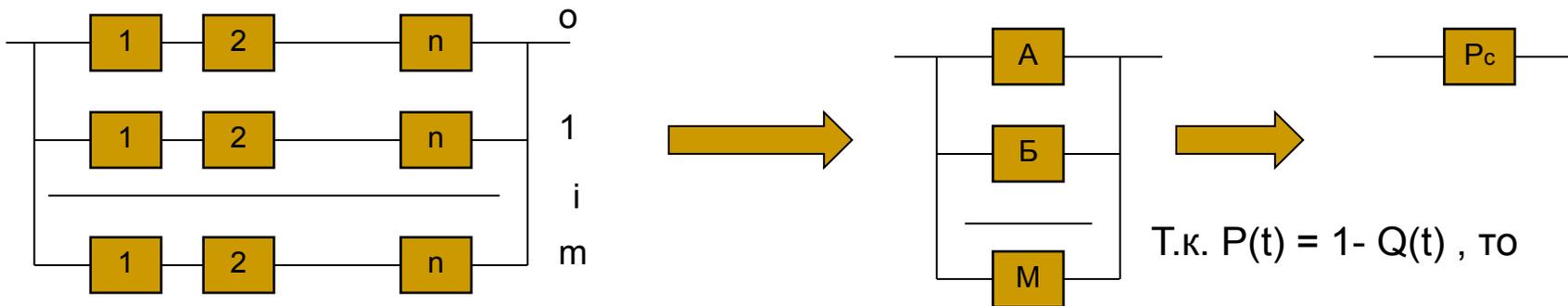
Рисунок 3.6. Мажоритарное резервирование «m» из «n»

Мажоритарное резервирование – это резервирование основано на применении дополнительного элемента, называемого мажоритарным, или логическим. Одним из видов мажоритарного резервирования является резервирование «m» из «n» (рис. 3.6.).

резервированием.

4.1. Расчет надежности при общем и раздельном резервировании.

4.1.1. Постоянное общее резервирование



При последовательном соединении элементов:

$$P_A(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

При параллельном соединении элементов:

$$Q = \prod_{j=1}^m q_j = q_A \cdot q_B \cdot \dots \cdot q_m = q_A^m = (1 - p_A)^m$$

С учетом основной цепи и резервных цепей имеем:

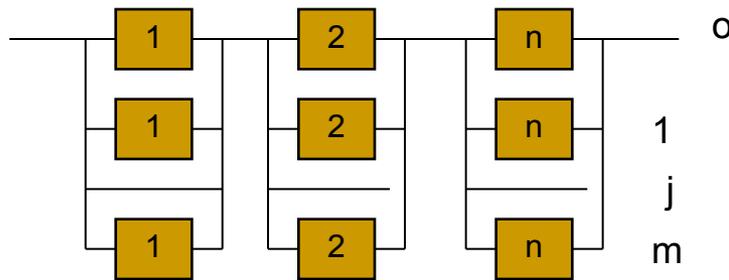
$$Q_C(t) = Q_O(t) \prod_{i=1}^m Q_{Pi}(t) = \prod_{i=1}^{m+1} Q_i(t)$$

$$P_C(t) = 1 - [Q\{t\}]^{m+1}$$

$$Q_C = [Q(t)]^{m+1}$$

4.1. Расчет надежности при общем и отдельном резервировании.

4.1.2. Постоянное отдельное резервирование



Для основной цены:

$$P_0(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) \quad Q_0(t) = 1 - \prod_{i=1}^n p_i(t)$$

Для резервной цены:

$$Q_{рез}(t) = \prod_{j=1}^m q_j(t)$$

Для системы:

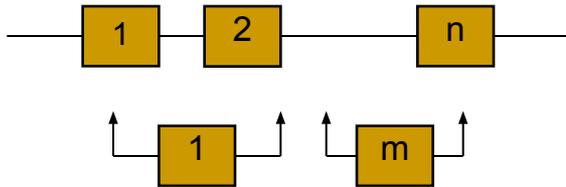
$$Q_c(t) = Q_0(t) \prod_{j=1}^m q_j(t) = Q^{m+1}(t)$$

$$P_c(t) = 1 - Q^{m+1}(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n P_i(t) \right]^{m+1}$$

Средняя наработка до отказа такой резервированной системы при равнонадежных элементах равна:

$$T_{CPc} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{N+1} + \dots + \frac{1}{N+M} \right)$$

4.2. Расчет надежности при резервировании систем с дробной кратностью



Безотказная работа системы в течении времени t будет иметь место, если за это время осуществится хотя бы одна гипотеза:
 H_0 – все элементы исправны;
 H_1 – один элемент отказал, $(M + N - 1)$ элементов исправны;
 $(H_i - i)$ элементов отказали, $(M + N - i)$ элементов исправны;
 $(H_m - M)$ элементов отказали, N элементов исправны.

Число различных состояний системы можно описать выражением:

$$C_{N+M}^i = \frac{(N + M)!}{i!(M + N - i)!}$$

Где N – число элементов основной цепи;
 M – число резервных элементов

Вероятность безотказной работы системы с резервированием с дробной кратностью может быть определена выражением :

$$P_c(t) = \sum_{i=0}^M C_{N+M}^i [1 - P(t)]^i [P(t)]^{N+M-i}$$