Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Майкопский государственный технологический университет» филиал в п.г.т. Яблоновский

КАФЕДРА «Транспортных процессов и техносферной безопасности»

Солод С.А.

«Надежность технических систем и техногенный риск»

Методические указания по изучению дисциплины и выполнению практических работ для студентов всех форм обучения направления подготовки 20.05.01 Пожарная безопасность

г. Майкоп
2021

Надежность технических систем и техногенный риск. Методические указания по изучению дисциплины и выполнению практических работ для студентов для студентов всех форм обучения направления подготовки 20.05.01 Пожарная безопасность, профиль Пожарная безопасность – Краснодар: Изд-во МГТУ, 2021. – 50 с.

В учебно-методическом пособии изложены подходы к оценке надежности технических систем и величины техногенного риска, примеры расчета показателей надежности и риска, задачи и контрольные вопросы для закрепления материала.

Печатается по решению методического совета ФГБОУ ВО «Майкопского государственного технологического университета»

Рецензенты: докт. техн. наук, профессор В.Г. Сазыкин
докт. техн. наук, профессор И.И. Тесленко

Содержание

Введение

«Надежность технических систем и техногенный риск» - общепрофессиональная дисциплина, занимающаяся изучением методов задания, оценки, прогнозирования, контроля и обеспечения эксплуатационно-технических показателей качества, эффективности и безопасности промышленных объектов различного назначения на всех этапах их жизненного цикла.

Предметом исследования в теории надежности является изучение причин, вызывающих отказы технических объектов, определение закономерностей, которым они подчиняются, разработка способов количественного измерения надежности, методов расчета и испытаний, разработка путей и средств улучшения ее количественных характеристик.

Задачи дисциплины - формирование умений и навыков по следующим направлениям деятельности: разработка физических и математических моделей системы человек - машина - среда; анализ показателей надежности систем данного вида; анализ опасностей рисков, связанных с созданием и эксплуатацией современной техники и технологий.

Нормативные ссылки

1. ГОСТ 27.003.90 Надежность в технике. Состав и общие правила: задания требований по надежности. М., 1991 г.
2. ГОСТ 27.31.95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. М., 1996 г.
3. ГОСТ 27.402.95 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля времени наработки на отказ. (Экспоненциальное распределение). М., 1996 г.
4. ГОСТ 27.410.87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы испытаний на надежность. М., 1988 г.
5. МЭК 1025. Анализ деревьев отказов. М., 1990 г.
6. МЭК 1078 Методы анализа надежности. Методы расчета безотказности с использованием блок - схем. М., 1992 г.

Программа дисциплины:

Практическое занятие № 1 Составление структурной схемы надежности

Цель занятия: изучить методику составления структурной схемы надежности.

Учебные вопросы:

1. Структурная схема надежности.

2. Составление структурных схем надежности.

Литература:

1. А.М.Половко. Основы теории надежности – М.: Издательство «Наука», 1964 г.
2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988 г.

1. Структурные схемы надежности

Структурная схема надежности (ССН) представляет собой условную запись или графическое изображение, позволяющее описать работоспособное состояние объекта через возможные состояния его составных частей, элементов с учетом их связей и функционального назначения. ССН составляются на основании чертежей и принципиальных схем устройства и его сборочных единиц.

Работа по составлению структурных схем включает следующие этапы:

1. Проводится анализ всего комплекса работ, для выполнения которых предназначено ТУ. Устанавливается время выполнения каждой операции и составляется график пооперационной работы объекта, при выполнении установленных для него функций.

2. Рассматривается работа составных частей ТУ при выполнении операций и определяется время их совершения. Выделяются основные и вспомогательные элементы.

3. Определяется содержание понятия «безотказная работа» ТУ в целом и составных частей, а также понятие «отказ» устройства.

Безотказная работа ТУ будет определяться условием не возникновения отказа в течение времени выполнения объектом (элементами) требуемых функций. Под отказом понимается событие, вызывающее:

- потерю работоспособности ТУ (элемента);

- задержку во времени выполнения поставленной задачи по сравнению с графиком работ;
- выход за допустимые пределы основных параметров ТУ (элемента) и т.д.

4. Составляются структурные схемы надежности ТУ при выполнении различных операций.

Для ТУ в целом разрабатываются укрупненные ССН, в которые входят только составляющие элементы. Если составная часть выполняет несколько операций, в каждой из которых задействованы различные типы и количество элементов, ССН такой составной части разрабатываются для каждой операции.

Все элементы включаются в ССН в соответствии с последовательностью прохождения рабочего сигнала и функциональной связи элементов. Резервные элементы (части) показываются в виде параллельных цепочек основным элементом ТУ.

2. Решение задач по составлению структурных схем надежности.

Задача 1.

Составить структурную схему надежности системы охлаждения и очистки отработавшего газа. Функциональная схема системы представлена на рисунке 1.1.

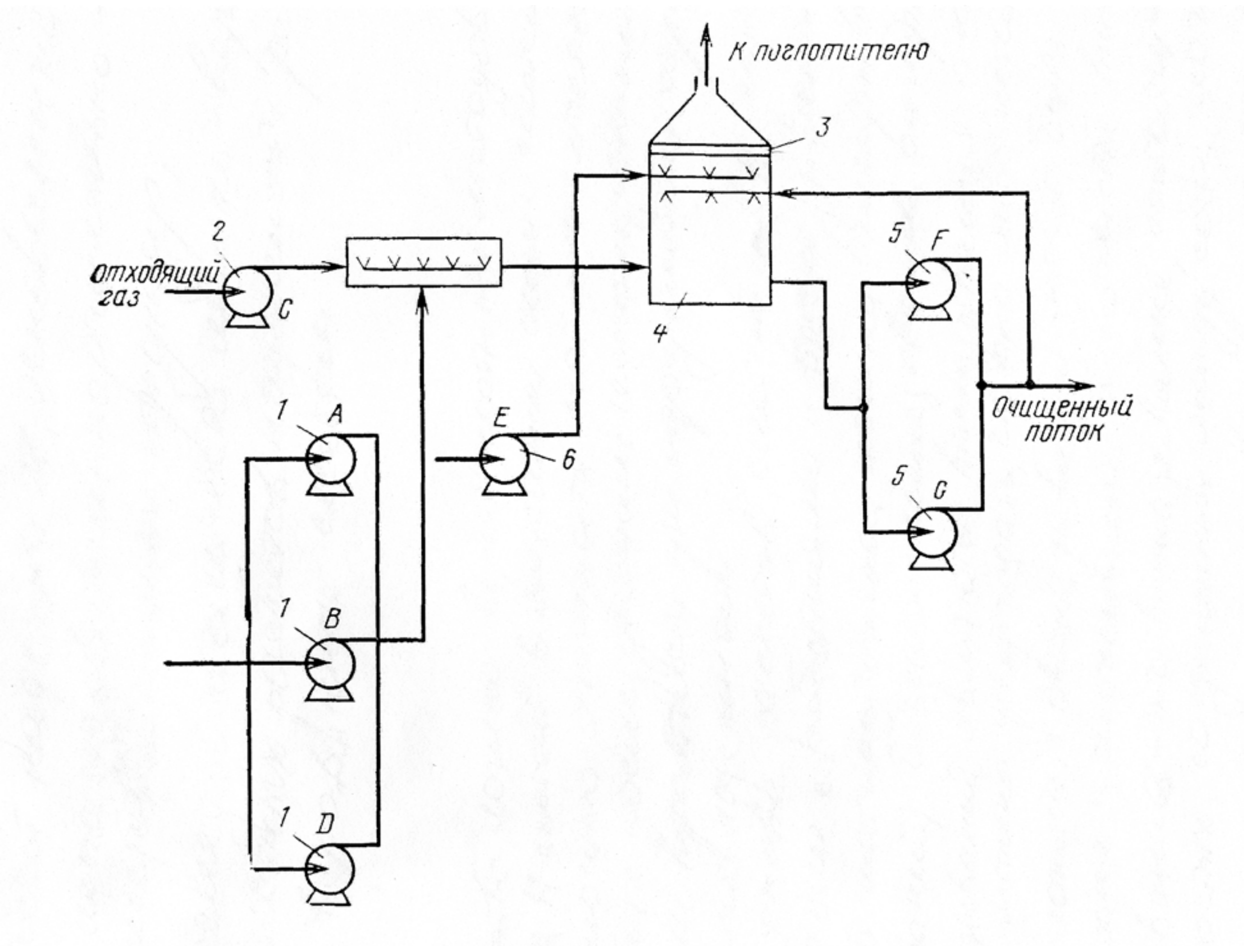


Рисунок 1.1. Схема системы охлаждения и очистки отработавшего газа

1 — охлаждающие насосы; *2* — вспомогательный вентилятор; *3* — сетчатый фильтр; *4* — предварительный газоочиститель; *5* — два циркуляционных насоса предварительного газоочистителя; *6* — питательный насос

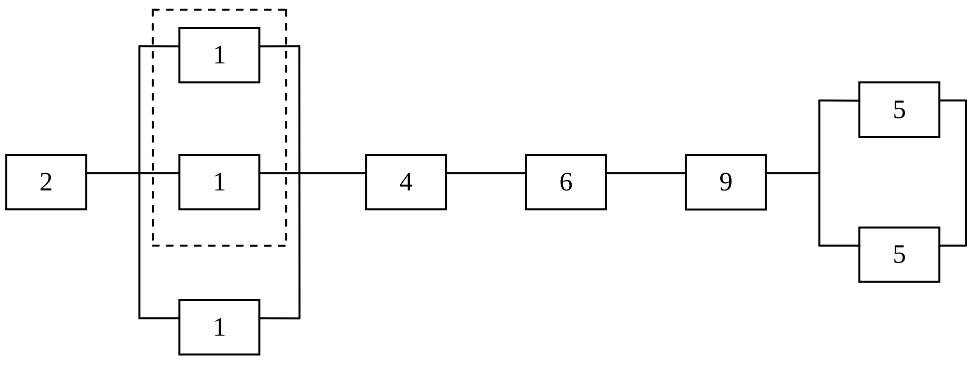


Рис. 1.2. Структурная схема надежности системы охлаждения и очистки отработавшего газа

Задача 2.

Составить структурную схему надежности системы поточной линии обработки шоколадных масс фирмы «Карле и Монтанари».

Функциональная схема системы представлена на рисунке 1.3.

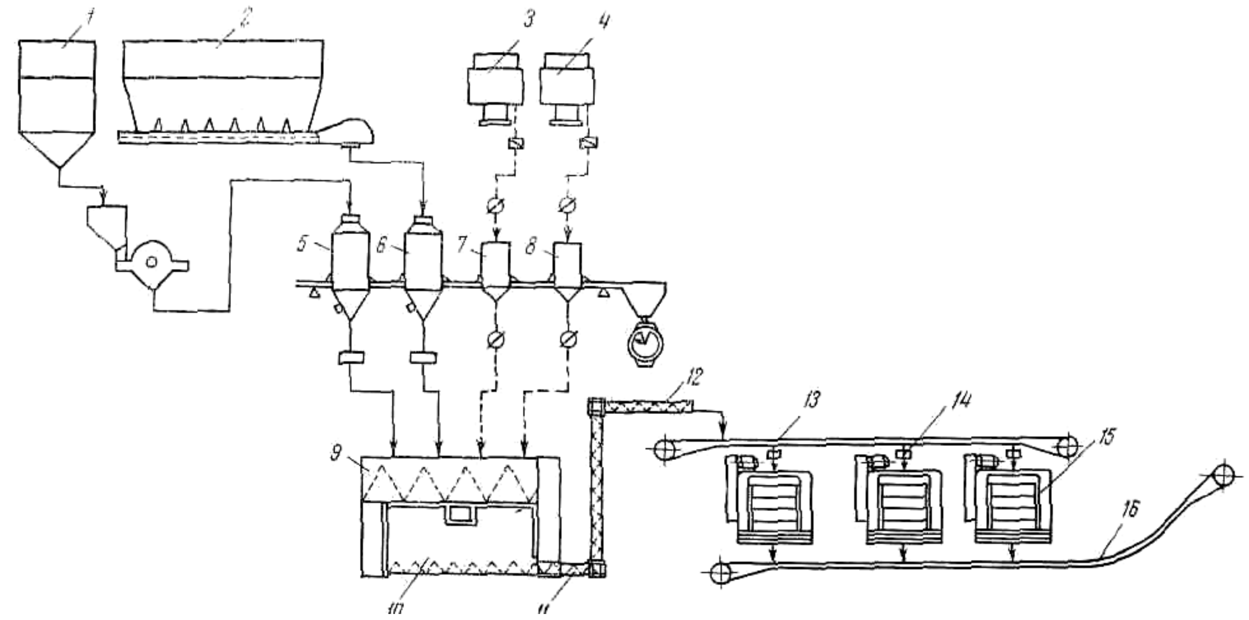


Рис. 1.3 Схема поточной линии обработки шоколадных масс фирмы «Карле и Монтанари»

1, 2, 3, 4 – бункера; 5, 6, 7, 8 – автоматические весы; 9 – смеситель; 10 – ёмкость; 11, 12 – шнеки; 13 – транспортер со стальной лентой; 14 – разгрузочные приспособления; 15 – валковые мельницы; 16 – транспортер.

Описание технологического процесса

Сахар и сухое молоко из бункеров 1 и 2 (рисунок 2) подаются к автоматическим весам 5 и 6. Тертое какао и масло какао из емкостей 3 и 4 подаются к весам 7 и 8. Весы автоматически взвешивают все ингредиенты по программе, соответствующей рецептуре шоколадной массы, и загружают их в смеситель периодического действия 9. Выгружается масса в емкость 10, откуда она при помощи шнеков 11 и 12 передается на транспортер 13 со стальной лентой. Цикл работы станции полностью автоматизирован.

Разгрузочные приспособления 14 позволяют передавать массу на валковые мельницы 15 в любой последовательности. Отвальцованная масса транспортерами 16 передается к отделочным машинам.

Параллельная установка валковых мельниц создает хорошие условия для маневрирования, особенно при использовании резервной мельницы.

Практическое занятие № 2 Расчет показателей надежности простых невосстанавливаемых объектов

Цель занятия: освоить особенности расчета основных показателей надежности простых невосстанавливаемых объектов

Учебные вопросы:

1. Расчет показателей надежности простых невосстанавливаемых объектов
2. Практическое решение задач

Литература:

1. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб.для вузов/В.А.Острейковский.-М.: Высш.шк.,2003.-463 с.
2. Половко А.М. Основы теории надежности – М.: Издательство «Наука», 1964 г.
3. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988 г.

1. Расчет показателей надежности простых невосстанавливаемых объектов

Выбор количественных характеристик надежности зависит от вида объекта, поэтому основные показатели надежности отдельных объектов можно разбить на две группы:

- показатели, характеризующие надежность невосстанавливаемых объектов;
- показатели, характеризующие надежность восстанавливаемых объектов.

Невосстанавливаемые объекты могут иметь только один отказ. Эти объекты в процессе выполнения своих функций не допускают ремонта, и если происходит отказ такого объекта, то выполняемая операция считается сорванной. При совместном рассмотрении множества однотипных объектов время работы любого объекта до наступления 1 – го отказа T_0 (наработка до отказа) будет являться величиной случайной, наиболее полно характеризуемой законом распределения этой случайной величины.

Закон распределения случайной величины может быть представлен либо в виде плотности распределения f(t), либо в виде функции распределения F(t).

Свойствами плотности распределения случайной величины являются:

$$f(t) \geq 0, \quad \int_0^\infty f(t)dt = 1.$$

Нижний предел интегрирования взят равным 0, т.к. наработка до отказа не имеет отрицательных значений.

Функция распределения наработки до первого отказа определяется по формуле:

$$F(t) = P(T_0 < t) = \int_0^t f(t)dt, \tag{2.1}$$

где F(t) – вероятность попадания значений случайной величины на интервал (0,t)

Если $t_2 < t_1$, то $F(t_2) \geq F(t_1)$. Кроме того, $0 \leq F(t) \leq 1$.

Плотность распределения f(t) связана с функцией распределения следующим соотношением:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}. \tag{2.2}$$

Статистическая плотность распределения $f^*(t)$ может быть найдена по формуле

$$f^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \tag{2.3}$$

где $n(\Delta t)$ – число объектов, отказавших в интервале $(t, t + \Delta t)$;

N_0 – число объектов, исправных в начальный момент времени;

N – общее число испытываемых объектов.

Основными показателями надежности для невосстанавливаемых объектов является следующие:

вероятность безотказной работы – $P(t)$;

средняя наработка до отказа – $t_{ср}$;

интенсивность отказов – $\lambda(t)$.

Эти показатели являются «единичными» показателями надежности, так как характеризуют только одно из свойств, входящих в понятие надежности, - безотказность.

Перечисленные показатели надежности могут быть найдены либо по известному закону распределения наработки до отказа, либо приближенно опытным путем по результатам испытаний однородных объектов на надежность.

Вероятность безотказной работы за время наработки до отказа t:

$$P(t) = P(T > t) = P(t < T < \infty) = \int_t^{\infty} f(t)dt, \tag{2.4}$$

Учитывая, что

$$F(t) = P(T < t) = 1 - P(T > t) = 1 - P(t), \tag{2.5}$$

имеем:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - P(t))}{dt} = -\frac{dP(t)}{dt} = -P'(t). \tag{2.6}$$

Вероятность безотказной работы по статистическим данным об отказах оцениваются выражением

$$P^*(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

(2.7)

где N_0 – общее число испытываемых объектов;

n(t) – число объектов, отказавших за время t.

При $N_0 \to \infty$, $P^*(t) = P(t)$, т.е. при увеличении числа испытываемых объектов статистическая оценка практически совпадает с вероятностью безотказной работы P(t).

2. *Средняя наработка до отказа* определяется как математическое ожидание до отказа:

$$t_{cp} = \int_0^\infty tf(t)dt, \tag{2.8}$$

где f(t) – плотность распределения наработки до отказа, математические выражения, для которой приведены в п.1.4.

Установим связь между P(t) и $t_{ср}$.

С учетом выражения (2.6) формула (2.8) имеет вид

$$t_{cp} = -\int_0^\infty tP'(t)dt.$$

Взяв интеграл по частям, с учетом того, что P(0) = 1, а P(∞) = 0, получим:

$$t_{cp} = \int_0^\infty P(t)dt, \tag{2.9}$$

Геометрически $t_{ср}$ соответствует площади, ограниченной сверху кривой P(t). Если кривая P(t) построена по опытным данным, то путем замера площади можно найти приближенно $t_{ср}$.

По статистическим данным об отказах средняя наработка до отказа вычисляется по формуле

$$t^*_{cp} = \frac{1}{N_0}\sum_{i=1}^{N_0} t_i\ , \qquad (2.10)$$

где t_i – время исправной работы i-го объекта. Здесь подразумевается план испытаний по времени до наступления отказа у последнего объекта.

3. *Средняя наработка на отказ* – это отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течении этой наработки

$$T_0 = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n} t_{cp}\ , \qquad (2.11)$$

где $t_{cp\ i}$ – время исправной работы между отказами объекта;

n – число отказов объекта.

Частота отказов или плотность вероятности безотказной работы статистически определяется с помощью выражения

$$f(\Delta t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}\ ,$$

где $\Delta n(\Delta t)$ - число отказов за интервал времени Δt;

N_0 - число объектов в начале испытаний.

Интенсивность отказов – это отношение числа отказавших объектов в единицу времени к среднему числу объектов, продолжающих исправно работать в данный интервал времени

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{\overline{N}(t) \cdot \Delta t}\ , \qquad (2.12)$$

где $\overline{N}(t) = \frac{N_{i-1} + N_i}{2}$ - среднее числу объектов, продолжающих исправно работать в данный интервал времени (Δt).

В соответствии с ее определением находят по формуле

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$$

или с учетом выражения (2.6)

$$\lambda(t) = -\frac{P'(t)}{P(t)} = -[\ln P(t)]. \qquad (2.13)$$

Проинтегрируем выражение (4.13) в пределах от 0 до t :

$$\int_0^t \lambda(t)dt = -\int_0^t [\ln P(t)]'dt$$

или

$$-\int_0^t \lambda(t)dt = \ln P(t).$$

Окончательно имеем

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \qquad (2.14)$$

Полученная зависимость (2.13) справедлива для любого закона распределения наработки до отказа.

Определим для некоторых законов распределения показатели безотказности.

Для экспоненциального закона распределения наработки до отказа имеем:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; \qquad (2.15)$$

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda}; \qquad (2.16)$$

$$\lambda(t)=\lambda \qquad (2.17)$$

Рассмотренные показатели надежности позволяют достаточно полно оценить надежность невосстанавливаемых объектов, а также и восстанавливаемых при их работе до первого отказа. Наличие нескольких показателей вовсе не означает, что всегда нужно оценивать надежность объектов по всем показателям.

Интенсивность отказов - наиболее удобная характеристика надежности простейших элементов, так как она позволяет достаточно просто вычислять количественные характеристики сложной системы.

2. Практическое решение задач.

Задача 1.

На испытание было поставлено 600 однотипных ламп. За период 4000 ч отказало 60 ламп, а за период 4000 ….5000 ч отказало еще 30 ламп. Требуется определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа за 4000 и 5000 часов работы. Вычислить интенсивность отказов электронных ламп в промежутке времени 4000 - 5000 ч.

Решение:

1. Определим вероятность безотказной работы и вероятность отказа за 4000 и 5000 часов работы.

$$P^*(4000) = \frac{N_0 - n(4000)}{N_0} = \frac{600 - 60}{600} = 0{,}9$$

$$P^*(5000) = \frac{N_0 - n(5000)}{N_0} = \frac{600 - (60 + 30)}{600} = 0{,}85$$

$$Q(4000) = 1 - P(4000) = 1 - 0{,}9 = 0{,}1$$
$$Q(5000) = 1 - p(5000) = 1 - 0{,}85 = 0{,}15$$

2. Вычислим интенсивность отказов электронных ламп в промежутке времени 4000 - 5000 ч.

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{\overline{N}(t) \cdot \Delta t}$$

$$\overline{N}(t) = \frac{N_{i-1} + N_i}{2} = \frac{540 + 510}{2} = 525$$

$$\lambda^*(t) = \frac{30}{525 \cdot 1000} = 5{,}7 \cdot 10^{-5} \quad 1/\text{ч}$$

Задача 2.

На испытание поставлено 300 изделий. За 3000 ч отказало 150 изделий, за следующие 100 ч отказало еще 75 изделий. Определить вероятность безотказной работы при наработке 3000 ч, 3100 ч., частоту и интенсивность отказов при наработке 3100 ч.

Задача 3.

На испытание поставлено 500 образцов. Отказы фиксируются каждые 200 часов работы. Распределение числа отказов приведено в таблице 1.

Построить график зависимости изменения вероятности безотказной работы и интенсивности отказов от наработки в интервале времени 0 – 2000 часов.

Таблица 1.

Δt	N_0	n	N (t)	P (t)	
0 – 200	500	20	480	0,96	
200 – 400		45	435	0,87	
400 – 600		32	403	0,8	
600 – 800		12	391	0,78	
800 - 1000		8	383	0,77	
1000 – 1200		2	381	0,76	
1200 - 1400		1	380	0,76	
1400 – 1600		2	378	0,75	
1600 - 1800		2	376	0,75	
1800 - 2000		1	375	0,75	

Решение:

1. Определяем P (t) по формуле:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{N(t)}{N_0} = \frac{500 - 480}{500} = 0{,}96.$$

1. Определим λ (t) по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N\Delta t},$$

где $N = \dfrac{N_1 + N_2}{2}$ - среднее число исправно работающих образцов за выбранный интервал.

Расчетные данные внесем в таблицу 2:

Таблица 2.

Δt	N_0	n	N_1 (t)	N_2 (t)	N	λ (t) × 10^{-4}
0 – 200	500	20	500	480	490	2
200 – 400		45	480	435	457,5	4,9
400 – 600		32	435	403	419	3,8
600 – 800		12	403	391	397	1,5
800 - 1000		8	391	383	387	1
1000 – 1200		2	383	381	382	0,26
1200 - 1400		1	381	380	380	0,13
1400 – 1600		2	380	378	379,5	0,26
1600 - 1800		2	378	376	378	0,26
1800 - 2000		1	376	375	376,5	0,32

Практическое занятие № 3 Расчет показателей надежности восстанавливаемых объектов

Цель занятия: Освоить особенности расчета основных показателей надежности восстанавливаемых объектов

Учебные вопросы:

1. Расчет показателей надежности восстанавливаемых объектов
2. Практическое решение задач

Литература:

1. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб.для вузов/В.А.Острейковский.-М.: Высш.шк.,2003.-463 с.

2. Половко А.М. Основы теории надежности – М.: Издательство «Наука», 1964 г.

3. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988 г.

1. Расчет показателей надежности восстанавливаемых объектов

Функционирование восстанавливаемых объектов отличается от функционирования невосстанавливаемых объектов тем, что при возникновении отказов у восстанавливаемых объектов они не снимаются с эксплуатации, а ремонтируются или заменяются новыми и снова продолжат функционировать. При этом каждый объект может иметь много отказов.

Если время, затрачиваемое на восстановление работоспособности объекта, мало по сравнению со временем работы объекта, то им можно пренебречь и считать восстановление мгновенным.

Моменты отказов, следующие один за другим в случайные моменты времени, образуют поток случайных событий называемый потоком отказов.

Основными показателями безотказности восстанавливаемых объектов в соответствии с работой [6] являются следующие:

- параметр потока отказов $\omega(t)$;
- наработка на отказ $T_о$;
- вероятность безотказной работы $P(t)$;
- вероятность восстановления $P_в(t)$.

Параметр потока отказов – это отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки.

Статистически параметр потока отказов можно определить по формуле

$$\omega(t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N_0 \Delta t} \qquad (3.1)$$

Наработка на отказ – это отношение наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течении этой наработки.

Наработку на отказ в соответствии с определением находят по формуле

$$T_0 = \frac{t}{\Omega(t)}, \tag{3.2}$$

где t - период наработки;

Ω (t) – математическое ожидание числа отказов за период наработки t.

Если рассматривается период времени от t_1 до t_2 , то

$$T_0 = \frac{t_2 - t_1}{\Omega(t_2) - \Omega(t_1)}.$$

(3.3)

После периода приработки из уравнения (3) получаем

$$T_0 = \frac{1}{\omega} = \text{const}. \tag{3.4}$$

Наработка на отказ есть среднее время между соседними отказами.

Величина наработки на отказ в общем случае зависит от длительности периода, в течение которого она определяется. Это обусловлено непостоянством характеристики потока отказов Ω(t).

Наработка на отказ статистически определяется отношением суммарной наработки восстанавливаемых объектов к суммарному числу отказов этих объектов.

Пусть испытывается N восстанавливаемых объектов до появления у каждого из них n отказов. При этом t_i – суммарная наработка i – го объекта за время этих испытаний. Тогда

$$T_0^{\ *} = \frac{\sum_{i=1}^{N} t_i}{N \cdot n}. \tag{3.5}$$

Вероятность безотказной работы объекта за время наработки находят как вероятность того, что за это время не наступит ни одного отказа:

$$P(t) = e^{-\Omega(t)}. \qquad (3.6)$$

Вероятность безотказной работы в период между наработками t находят по уравнению

$$P(t_2 - t_1) = e^{-(\Omega(t_2) - \Omega(t_1))} = e^{-\int_{e_1}^{t_2} \omega(t)dt}. \qquad (3.7)$$

После периода приработки вероятность безотказной работы в интервале t_1, t_2 находят по уравнению

$$P(t_2 - t_1) = e^{-\omega(t_2 - t_1)} = e^{-\frac{t_2 - t_1}{T_0}}. \qquad (3.8)$$

Более точные формулы для P(t) и Ω(t) можно получить, зная закон распределения f(t).

Рассмотрим показатели ремонтопригодности восстанавливаемых объектов.

Вероятность восстановления в заданное время согласно определению находят:

$$P_в(t) = P(t_в < t) = F_в(t), \qquad (3.9)$$

где $t_в$ – случайное время восстановления;

$F_в(t)$ – функция распределения времени восстановления.

Время восстановления – это время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины отказа и устранение последствий отказа.

По аналогии с интенсивностью отказов поток восстановлений можно характеризовать интенсивностью восстановлений μ(t).

$$\mu(t) = \frac{f_в(t)}{1 - P_в(t)}, \qquad (3.10)$$

где $f_в(t)$ – плотность распределения времени восстановления.

При любом законе распределения времени восстановления $P_в(t)$ и μ(t) связаны между собой зависимостью:

$$P_в(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu t_d dt}. \qquad (3.11)$$

При показательном законе времени восстановления μ(t) = μ, а

$$P_в(t) = 1 - e^{-\mu e} \qquad (3.12)$$

Согласно определению среднее время восстановления $T_в$ находят:

$$T_в = \int_0^\infty t f_в(t) dt \, . \qquad (3.13)$$

При показательном законе времени восстановления

$$T_в = \int_0^\infty t \mu e^{\mu t} dt = \frac{1}{\mu} \, . \qquad (3.14)$$

Если на отыскание и устранение m отказов было затрачено время t_1, t_2, …, t_1, то среднее время восстановления находят по уравнению

$$T^*_в = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} t_i \, , \qquad (3.15)$$

где $T^*_в$ – это статистическая оценка времени восстановления.

2. Практическое решение задач

Задача 1.

Система , состоящая из 100 элементов в течении 120 часов отказала 4 раза. Определить величину потока отказов системы за данный период времени и наработку на отказ.

Решение:

$$\omega(t) = \frac{\Delta n(\Delta t)}{N_0 \Delta t} = \frac{4}{100 \cdot 120} = 0{,}00033$$

$$T_0 = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{0{,}00033} = 3030 \text{ ч.}$$

Задача 2.

Определить вероятность восстановления системы при наработки 2500 часов, если среднее время восстановления составляет 20 часов.

Решение:

$$T_B = \frac{1}{\mu} \qquad \mu = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{20} = 0{,}05 \quad 1/\text{ч}$$

$$P_B = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-0{,}05 \cdot 2500} = 1$$

Задача 3.

За наблюдаемый период 100 часов эксплуатации в аппаратуре было зафиксировано 5 отказов. Время восстановления составило: t_{B1} = 10 мин; t_{B2} = 20 мин; t_{B3} = 15 мин; t_{B4} = 12 мин; t_{B5} = 25 мин. Требуется определить средне время восстановления аппаратуры и вероятность восстановления.

Решение:

$$T_{CpB} = \frac{\sum t_{вi}}{n} = \frac{82}{5} = 16{,}4 \text{ мин} = 0{,}27 \text{ ч}$$

$$\mu = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{0{,}27} = 3{,}7 \quad 1/\text{ч}$$

$$P_B = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-3{,}7 \cdot 100} = 1$$

Задача 4.

За наблюдаемый период эксплуатации в аппаратуре было зафиксировано 5 отказов. Время восстановления составило: t_{B1} = 10 ч; t_{B2} = 20 ч ; t_{B3} = 15 ч; t_{B4} = 12 ч; t_{B5} = 25 ч. Требуется определить средне время восстановления аппаратуры и вероятность восстановления при наработке 10 ч, 50 ч, 100 ч и 500 ч.

Решение:

$$T_{CpB} = \frac{\sum t_{вi}}{n} = \frac{82}{5} = 16{,}4 \text{ ч}$$

$$\mu = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{16{,}4} = 0{,}06 \quad 1/\text{ч}$$

$$P_B = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-0{,}06 \cdot 10} = 1 - 0{,}55 = 0{,}45$$

$$P_B = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-0{,}06 \cdot 50} = 1 - 0{,}05 = 0{,}95$$

$$P_B = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-0{,}06 \cdot 100} = 1 - 0{,}0024 = 0{,}9976$$

$$P_B = 1 - e^{-\mu t} = 1 - e^{-0,06 \cdot 500} = 1$$

Задача 5.

Определить среднюю наработку на отказ T_0 турбогенератора ТЭЦ. За период наблюдений было зарегистрировано 12 отказов. До начала наблюдений турбогенератор проработал 1200 ч, к концу наблюдений наработка составила 2556 ч..

Задача 6.

Система состоит из 4 однотипных блоков, причем отказ одного из них ведет к отказу системы. Известно, что первый блок отказал 15 раз в течении 650 часов, второй – 20 раз в течении 900 часов, 3 и 4 блоки соответственно 5 и 10 раз в течении 200 часов. Требуется определить наработку на отказ системы в целом.

Задача 7.

За наблюдаемый период эксплуатации в аппаратуре было зафиксировано 5 отказов. Время восстановления составило: t_{B1} = 10 мин; t_{B2} = 20 мин; t_{B3} = 15 мин; t_{B4} = 12 мин; t_{B5} = 25 мин. Требуется определить средне время восстановления аппаратуры.

Практическое занятие № 4 Расчет показателей надежности сложных не резервированных технических устройств, при основном соединении элементов

Цель занятия: Освоить особенности расчета показателей надежности сложных не резервированных технических устройств

Учебные вопросы:

1. Расчет показателей надежности сложных не резервированных технических устройств, при основном соединении элементов.
2. Практическое решение задач

Литература:

1. А.М.Половко. Основы теории надежности – М.: Издательство «Наука», 1964 г.

2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988 г.

4.1. Расчет показателей надежности сложных не резервированных технических устройств, при основном соединении элементов.

Рассмотрим невосстанавливаемую не резервированную техническую систему как сложный объект. Структурная схема надежности такой системы представляет собой цепочку последовательно соединенных элементов. Отказ любого отдельного элемента приводит к отказу всей системы. Будем считать отказы отдельных элементов независимыми событиями.

Пусть система состоит из N отдельных элементов.

Событие A_i – безотказная работа i – го отдельного элемента i = 1,2, …,N.

Событие B_i – безотказная работа системы. Система будет безотказно работать тогда, когда одновременно будут функционировать все отдельные элементы, т.е.

$$B = A_1 \cdot A_2 \cdot \ldots \cdot A_N = \prod_{i=1}^{N} A_i \,,$$

для независимых событий

$$P(B) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \ldots \cdot P(A_N) = \prod_{i=1}^{N} P_i(A_1) \,.$$

Окончательно имеем

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \ldots \cdot P_N(t) = \prod_{i=1}^{N} P_i(t) \,, \tag{4.1}$$

где P(t) – вероятность безотказной работы системы;

$P_1(t)$, $P_2(t)$, …, $P_n(t)$ – вероятности работы отдельных элементов (объектов).

В частном случае при одинаковой надежности элементов, т.е. $P_1(t) = P_2(t) = \ldots = P_N(t)$ вероятность безотказной работы системы определяется как

$$P(t) = \{P_i(t)\}^N \,. \tag{4.2}$$

Из формул (2.42) и (2.43) видно, что при последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы системы уменьшается с ростом числа элементов N.

Найдем интенсивность отказов системы λ(t) через интенсивность отказов ее элементов $\lambda_i(t)$.

В соответствии с формулами (2.13) и (2.42) имеем

$$P(t) = \prod_{i=1}^{N} P_i(t) = \prod_{i=1}^{N} e^{-\int_0^t \lambda_i(t)dt} = e^{-\int_0^t \sum_{i=1}^{N} \lambda_i(t)dt} \,. \tag{4.3}$$

С другой стороны

$$P(t)=e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}. \qquad (4.4)$$

Приравняв равные части уравнений (2.44) и (2.45), получим:

$$\lambda(t)=\sum_{i=1}^{N}\lambda_i(t). \qquad (4.5)$$

Таким образом, интенсивность отказов системы равна сумме интенсивности отказов ее элементов.

Среднюю наработку до отказа системы найдем по формуле (2.9) с учетом уравнения (2.42):

$$t_{cp}=\int_0^\infty P(t)dt=\int_0^\infty P_1(t)\cdot P_2(t)\cdot\ldots\cdot P_N(t)dt. \qquad (4.6)$$

В ряде случаев интеграл от функции (2.47) для $t_{ср}$ не выражается через элементарные или табулированные функции. В этом случае для нахождения $t_{ср}$ применяют метод численного интегрирования.

При расчете показателей надежности не резервированной системы важное место имеет учет зависимости между отказами. Зависимость между отказами связана с воздействием на систему внешних условий, способствующих выходу из строя сразу нескольких элементов. Примерами воздействия внешних условий являются:

- отклонение температурного режима от нормы;
- тряска, вибрации;
- скачки напряжения в цепи электропитания всей схемы;
- повышенное время хранения изделия и т.п.

Все эти воздействия нужно учитывать при расчете показателей надежности системы. Учет этой зависимости сводится к следующему.

Пусть имеется система, состоящая из какого – либо числа элементов. Предположим, что система может работать в одном из К режимов R_1, R_2, …, $R_к$ с вероятностями $P(R_1)$, $P(R_2)$, …,$P(R_к)$. Считаем, что в режиме R_i известны показатели надежности элементов системы, при этом отказы элементов в этом режиме независимы.

Тогда по формуле полной вероятности можно найти полную вероятность безотказной работы системы:

$$P_c=\sum_{i=1}^{k}P(R_i)P(A/R_i), \qquad (4.7)$$

где $P(A/R_i)$ – условная вероятность безотказной работы системы, вычисленная при условии ее работы в режиме R_i.

Таким образом, полный показатель системы равен сумме вероятностей различных режимов работы, умноженные на условные показатели надежности системы, вычисленные для этих режимов.

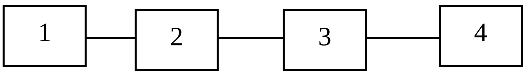
2. Практическое решение задач

Задача 1.

Система, состоящая из 4 элементов. Выход каждого элемента ведет к отказу системы. Интенсивность отказа элементов по опыту эксплуатации: $\lambda_1 = \lambda_2 = 2{\cdot}10^{-6}$, $\lambda_3 = \lambda_4 = 6{\cdot}10^{-6}$. Определить величину вероятности безотказной работы при наработке 120 000 часов.

Решение:

Т.к. выход каждого элемента ведет к отказу системы, значит соединение элементов основное. Структурную схему надежности можно представить в следующем виде:



Определим вероятность безотказной работы элементов:

$$P_{1,2}(t) = e^{-\lambda \cdot t} = 2{,}73^{-2\cdot 10^{-6}\cdot 1{,}2\cdot 10^{-5}} = 0{,}79$$

$$P_{3,4}(t) = e^{-\lambda \cdot t} = 2{,}73^{-6\cdot 10^{-6}\cdot 1{,}2\cdot 10^{-5}} = 0{,}49$$

При основном соединении элементов

$$P_c(t) = \prod P_i(t) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 = 0{,}79 \cdot 0{,}79 \cdot 0{,}49 \cdot 0{,}49 = 0{,}15$$

Задача 2.

Пример 1.

Система состоит из трех последовательно включенных элементов, которая работает в двух режимах: нормальном и ненормальном. Вероятности этих режимов равны: $P(R_1) = 0.7$, $P(R_2) = 0.3$.

В первом режиме вероятности безотказной работы элементов равны:

$P_1 = 0.95$; $P_2 = 0.92$; $P_3 = 0.80$.

Для второго режима эти вероятности равны:

$P_1 = 0.80$; $P_2 = 0.75$; $P_3 = 0.62$.

Определить полную вероятность безотказной работы системы P_c.

Решение. Определяем вероятности безотказной работы системы для первого и второго режимов:

$P(A/R_1) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 0.95 \cdot 0.92 \cdot 0.80 = 0.699,$

$P(A/R_2) = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 0.80 \cdot 0.75 \cdot 0.62 = 0.372.$

Полная вероятность P_c равна:

$$P_c = \sum_{i=1}^{2} P(R_i) \cdot P(A/R_i) = 0.7 \cdot 0.699 + 0.3 \cdot 0.372 = 0.601.$$

Для сравнения определим P_c, считая отказы элементов независимыми.

Полные вероятности безотказной работы элементов соответственно равны:

$P_{1п} = 0.7 \cdot 0.95 + 0.3 \cdot 0.80 = 0.905;$

$P_{2п} = 0.7 \cdot 0.92 + 0.3 \cdot 0.75 = 0.869;$

$P_{3п} = 0.7 \cdot 0.80 + 0.3 \cdot 0.62 = 0.746.$

Тогда P_c равна: $P_{1п} \cdot P_{2п} \cdot P_{3п} = 0.905 \cdot 0.869 \cdot 0.746 = 0.587.$

Из проведенных вычислений видно, что для не резервированной системы без учета зависимости отказов значение P_c является заниженным по сравнению со значением P_c, найденном при учете зависимости отказов. Отмеченное обстоятельство оказывается справедливым для всех не резервированных систем. И это занижение тем больше, чем больше число элементов, входящих в состав системы.

Практическое занятие № 5 Расчет показателей надежности резервированных технических устройств.

Цель занятия: Освоить особенности расчета показателей надежности резервированных технических устройств

Учебные вопросы:

1. Расчет надежности при общем и раздельном резервировании
2. Практическое решение задач

Литература:

1. А.М.Половко. Основы теории надежности – М.: Издательство «Наука», 1964 г.

2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988 г.

5.1. Расчет надежности при общем и раздельном резервировании.

А. Постоянное общее резервирование

Структурная схема надежности такой системы изображена на рис.5.1 . Примем обозначение: m-число резервных цепей (кратность резервирования); n- число элементов в основной или любой резервированной цепи; P_i (t)-вероятность безотказной работы i-го элемента в течении времени t.

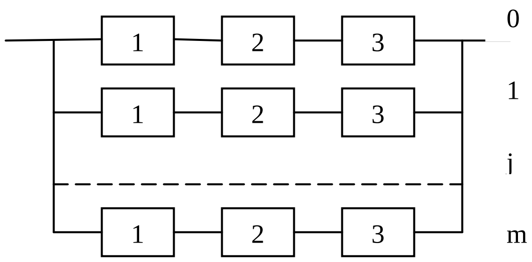


Рис. 5.1. Общее постоянное нагруженное резервирование

Вероятность безотказной работы любой из m+1 цепей можно найти по формуле (2.42). Общее число цепей в системе m+1 (m – резервных и одна основная). Тогда вероятность P(t) безотказной работы системы в течении времени t можно найти по формуле вероятности наступления хотя бы одного из m+1 случайных событий, т.е.

$$P(t) = 1 - [1 - \prod_{i=1}^{n} P_i(t)^{m+1}] \ . \quad (5.1)$$

При экспоненциальном законе распределения наработки

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t},$$

где λ_i – интенсивность отказов i-го элемента.

Тогда:

$$P(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda_0 t})^{m+1}; \quad (5.2)$$

$$t_{cp} = \frac{1}{\lambda_0} \sum_{j=1}^{m+1} \frac{1}{j} = t_{cp_0} \sum_{j=1}^{m+1} \frac{1}{j} \ , \quad (5.3)$$

где $\lambda_0 = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i$ - интенсивность отказов нерезервированной системы или любой из m резервных систем;

t_{cp0} – среднее время безотказной работы нерезервированной системы или любой из m резервных цепей;

t_{cp} – средняя наработка до отказа резервированной системы;

j – резервная цепь.

Могут быть случаи, когда система резервируются неравнонадежными системами (цепями). Пусть $P_{0j}(t)$ – вероятность безотказной работы j-й цепи . Тогда

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^{m+1} \{1 - P_{0j}(t)\}. \quad (5.4)$$

Значение $P_{0j}(t)$ находят по формуле (2.42).

Б. Раздельное резервирование с постоянно включенным резервом и с целой кратностью.

Структурная схема надежности такой системы изображена на рис.5.2.

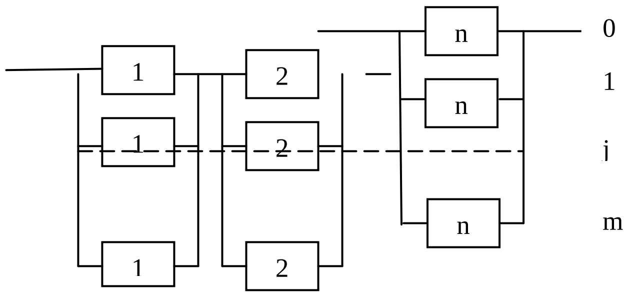


Рис. 5.2. Раздельное постоянное нагруженное резервирование

Вероятность безотказной работы системы определяется по выражению:

$$P(t) = \prod_{i=1}^{n} \{1 - [1 - P_i(t)]^{m_{i+1}}\}, \qquad (5.5)$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы i-го элемента;

m_i – кратность резервирования i-го элемента;

n – число элементов основной системы.

При экспоненциальном законе распределения наработки каждого из элементов, когда $P_i(t) = e^{-\lambda it}$, получим

$$P(t) = \prod_{i=1}^{n} \{1 - [1 - e^{-\lambda i(t)}]^{mi+1}\}. \qquad (5.6)$$

При равнонадежных элементах и одинаковой кратности их резервирования, т.е. когда

$$P_1(t) = P_2(t) = ... = P_N(t) = e^{-\lambda t}; m_1 = m_2 = ... = m_N$$

получим

$$P(t) = \{1 - [1 - e^{-\lambda t}]^{m+1}\}^N \qquad (5.7)$$

$$t_{cp} = \int_0^\infty P(t)\partial t = \frac{(N-1)!}{\lambda(m+1)} \sum_{i=0}^{m} \frac{1}{\nu_i(\nu_i + 1)...(\nu_i + N - 1)}, \qquad (5.8)$$

где $\nu_i = \dfrac{i+1}{m+1}$.

Практическое решение задач

<u>Задача 1.</u>

Определить вероятность безотказной работы системы в течение наработки 100 ч. Структурная схема системы представлена на рисунке 5.3.

Блоки имеют следующие значения вероятности безотказной работы: $P_1(100)=0{,}9$; $P_2(100)=0{,}7$; $P_3(100)=0{,}85$.

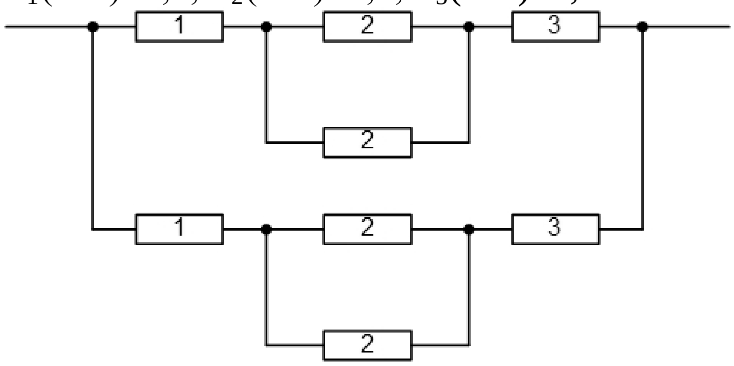
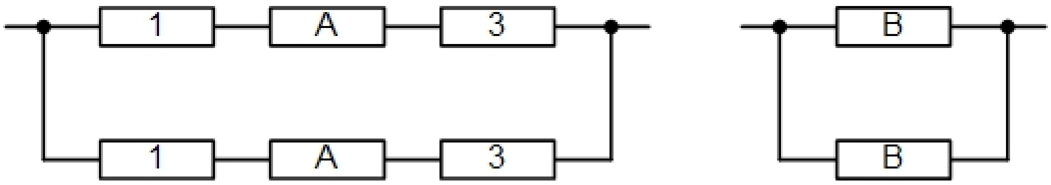


Рисунок 5.3

Решение:

1. Упростим схему



$$A:\ Q_A = q_2^2;\ P_A = 1 - Q_A = 1 - q_2^2 = 1 - [(1 - P^2)] = 1 - [(1 - 0.7)^2] = 1 - 0.09 = 0.91$$

2. $B: P_B = P_1 P_A P_3 = 0.9 \cdot 0.91 \cdot 0.85 = 0.696 \approx 0.7$

3. $P_C = 1 - \prod_1^2 q_B^2 = 1 - (1 - P_B)^2 = 1 - (1 - 0.7)^2 = 1 - 0.09 = 0.91$

Задача 2.

Дана система, схема расчета надежности которой изображена на рисунке 2. Определить вероятность безотказной работы системы при известных вероятностях безотказной работы ее элементов.

Для элементов блоков А, Б, Г - P=0,9

Для блока В – 0,97

Виды резервирования:

А – дублирование с постоянно включенным резервом;

Б – дублирование с замещением;

В – нерезервируемый элемент высокой надежности;

Г – резервирование с дробной кратностью «2 из 3»

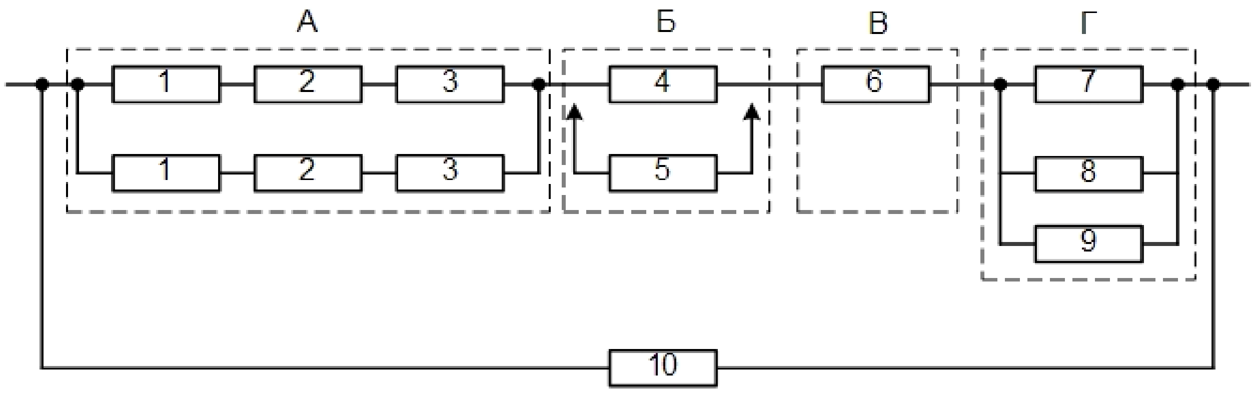


Рисунок 5.4

$$P_1 = P_А P_Б P_В P_Г$$

$$P_А = 1-[1-\Pi P_i]^2 = 1-[1-0.9^3]^2 \approx 0.93$$

$$P_Б = \exp(-\lambda_0 t)\sum_{i=0}^{m}\frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = \exp(-\lambda_0 t)(1+\lambda_0 t) \approx 0.9(1+0.1) = 0.99$$

$$P_Г = 1-[1-\Pi P_i]^3 = 1-[1-P_7]^3 = 1-[1-0.9]^3 = 0.999$$

$$P_1 = 0.93\cdot 0.99\cdot 0.97\cdot 0.999 = 0.89$$

$$P_2 = 0.9$$

$$P_С = 1-\Pi q_1 q_2 = 1-[1-P_1][1-P_2] = 1-[1-0.89][1-0.9] = 1-0.11\cdot 0.1 = 0.989$$

Задача 3.

Найти вероятность безотказной работы системы, структурная схема надежности которой изображена на рис.5.5. Система состоит из двух неравнонадежных устройств I и II. Устройство I состоит из четырех узлов *а, б, в* и *г*. Узел *а* дублирован с постоянно включенным резервом, причем каждая часть узла состоит из трех последовательно соединенных элементов. Узел *б* дублирован по способу замещения , узел *в* состоит из одного нерезервированного элемента, а узел *г* имеет постоянное резервирование с дробной кратностью m=1/2 (схема группирования).

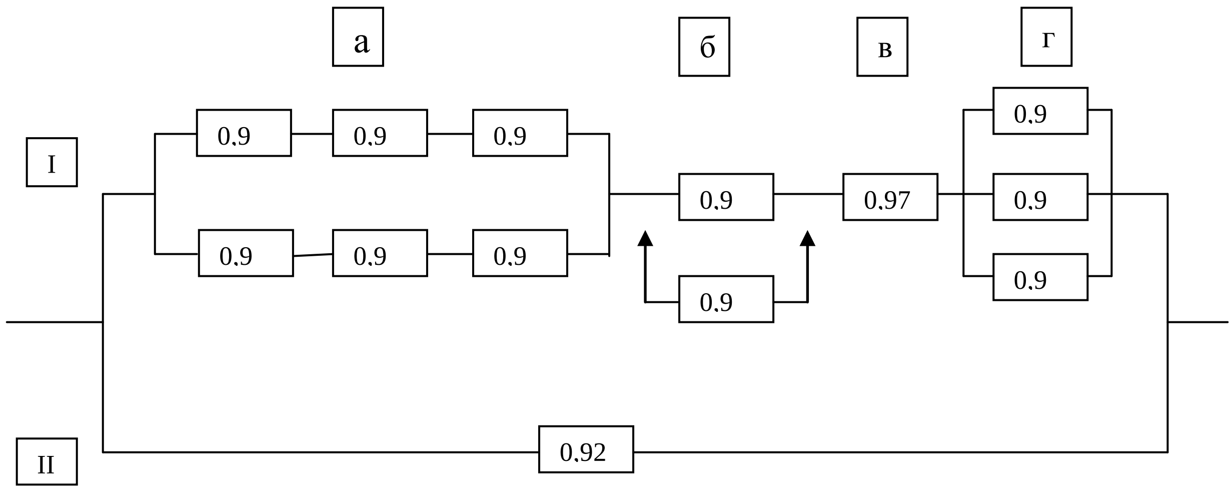


Рисунок 5.5.

Устройство II является нерезервированным. Вероятности безотказной работы элементов устройства известны и их значения указаны на рисунке.

Решение:

Так как оба устройства неравнонадежны, то на основании формулы (2.52) имеем

$$P(t) = 1 - \prod_{j=1}^{2}[1 - P_{0y}(t)] = 1 - [1 - P_I(t)][1 - P_{II}(t)].$$

Найдем вероятность $P_I(t)$. Так как все узлы устройства I соединены последовательно, то вероятность безотказной работы устройства I в соответствии с формулой (2.42) равна произведению вероятности безотказной работы всех узлов, т.е.

$$P_I = P_а \cdot P_б \cdot P_в \cdot P_г \ .$$

Узел α имеет общее постоянное резервирование с кратностью m=1 , а число элементов в каждой цепи n=3. Тогда на основании формулы (2.49)

$$P_\alpha = 1 - [1 - \prod_{i=1}^{n} P(t)_i]^{m+1} = 1 - [1 - 0.9^3]^2 = 0.93.$$

Узел б имеет резервирование замещением с ненагруженным резервом и m+1. Тогда на основании формулы (2.58) имеем

$$P_б = e^{-\lambda 0t}\sum_{i=0}^{m}\frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} = e^{-\lambda 0t}(1 - \lambda_0 t) = 0.9(1 + 0.1) = 0.99 \ ,$$

где $e^{-\lambda 0t} = 0.9$ - вероятность безотказной работы одного элемента , а $e^{-\lambda 0t} = 1 - \lambda_0 t = 0.9; \lambda_0 t = 1 - 0.9 = 0.1$.

Заметим, что формула (2.58) справедлива для экспоненциального закона распределения наработки до отказа.

Узел *г* имеет общее число систем l =3 , а число систем, необходимых для нормальной работы h=2, т.е. здесь применено постоянное резервирование с дробной кратностью. Тогда на основании формулы (2.63)

$$P_k = \sum_{i=0}^{l-h} c_j^i [P_0(t)]^{l-i}[1 - P_0(t)]^i = \sum_{i=0}^{1} c_3^i 0.9^{3-i} 0.1^i = 0.9^3 + 3\cdot 0.9^2 \cdot 0.1^1 = 0.972.$$

Вероятность безотказной работы устройства I равна

$$P_I = P_а \cdot P_{\bar{0}} \cdot P_в \cdot P_г = 0.93 \cdot 0.99 \cdot 0.97 \cdot 0.972 = 0.868 \ .$$

Тогда вероятность безотказной работы всей резервированной системы будет

$$P(t) = 1 - (1 - P_I)(1 - P_{II}) = 1 - (1 - 0.868)(1 - 0.92) = 0.9894..$$

Практическое занятие № 6 Расчет комплексных показателей надежности

Цель занятия: Освоить особенности расчета комплексных показателей надежности

Учебные вопросы:

1. Комплексные показатели надежности
2. Расчет комплексных показателей надежности

Литература:

1. Половко А.М. Основы теории надежности – М.: Издательство «Наука», 1964 г.
2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988 г.

6.1. Комплексные показатели надежности

Рассмотренные выше единичные показатели надежности дают характеристику отдельных частных свойств надежности, но не позволяют установить соотношение между временными составляющими цикла эксплуатации.

Вместе с тем, один объект может обладать высокими показателями безотказности, но быть плохо ремонтопригодным. Другой объект может быть долговечным, но обладать низкими показателями безотказности. Конечно, желательно иметь объекты, обладающие хорошими показателями и безотказности , и долговечности, и ремонтоприргодности, но осуществить это либо дорого , либо не возможно.

Для оценки нескольких свойств надежности используются комплексные показатели.

Коэффициент готовности – это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течении которых применение объекта по назначению не планируется.

Коэффициент готовности определяется как отношение времени безотказной работы (средней наработки до отказа) к сумме к сумме времени безотказной работы (средней наработки до отказа) и времени восстановления объекта.

$$K_Г = \frac{t_{бр}}{t_{бр} + t_в} = \frac{T_0}{T_0 + T_B}$$

Распределение времени безотказной работы и времен восстановления можно представить с помощью рисунка 1

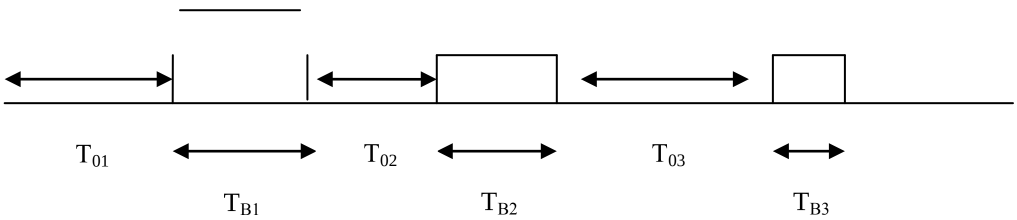


Рисунок 1. Распределение времени безотказной работы и времен восстановления

Т.к. $T_0 = \dfrac{1}{f(t)}$, то $K_Г = \dfrac{1}{1 + f(t)T_B}$,

где f (t) - средняя частота отказов.

Коэффициент оперативной готовности определяется как вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течении которых применение объекта по назначению не предусматривается.

$K_{ОГ} = K_Г \cdot P(t_{ОГ})$

Коэффициент оперативной готовности характеризует надежность объекта, необходимость применения которого возникает в произвольный момент времени, после которого требуется определенная безотказная работа. До этого момента такой объект может находится в режиме дежурства.

Коэффициент простоя – отношение времени восстановления к сумме времени восстановления и безотказной работы аппаратуры.

$$K_П = \frac{T_0}{T_0 + T_B} = 1 - K_Г$$

Коэффициент технического использования – это отношение математического ожидания интервалов времени пребывании объекта в состоянии простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтами.

$$K_{ТИ} = \frac{M(t_P)}{M(t_P) + M(t_{ТО}) + M(t_{Рем})},$$

где M (t_P) – математическое ожидание наработки восстанавливаемого объекта;

M ($t_{ТО}$) - математическое ожидание интервалов времени простоя при техническом обслуживании;

M ($t_{Рем}$) - математическое ожидание времени, затрачиваемого на плановые и неплановые ремонты.

Коэффициент профилактики – отношение времени восстановления к времени безотказной работы.

$$K_{ПРОФ} = \frac{T_B}{T_0} = \frac{1-K_Г}{K_Г} = \frac{K_П}{K_Г}.$$

6.2. Расчет комплексных показателей надежности

Пример 1

Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) системы мониторинга нефтегазового комплекса функционирует в дежурном режиме в готовности к работе по назначению. Продолжительность выполнения работы τ=150 ч. По статистическим данным найдены следующие значения:

- среднее время наработки до отказа ИВК, $t_{ср}$=2000 ч;
- среднее квадратическое отклонение времени наработки до отказа ИВК, σ_t=2000 ч;
- среднее время восстановления ИВК после отказа, t_B=30 ч.

Определить комплексные показатели надежности $К_{ог}$ и $К_г$.

Решение:

1. По формуле (2.66) находим

$К_г$=2000/2000+30=0.985.

2. По формуле (2.68) находим

$К_{ог}=2000*e^{-150/2000}/2000+30=0.914$.

Пример 2.

Система обработки информации (СОИ) функционирует в режиме ожидания. Операция обработки начинается в случайный момент времени и продолжается τ=150 ч.

Проверки работоспособности проводятся с периодичностью $Т_{пр}$=1700 ч. Отказ выявляется при проверке работоспособности. При отказе системы восстанавливают её работоспособность, среднее время восстановления t_B=70 ч. Если при проверке выявилось отсутствие отказа, проводят техническое обслуживание в течение времени t_0=40 ч.

По данным статистики определены значения средней наработки СОИ до отказа $t_{ср}$=2000 ч. , среднего квадратичного отклонения наработки СОИ до отказа σ=400 ч.

Определить комплексные показатели надежности системы обработки информации $К_{ог}$ и $К_{ти}$ по формулам (2.77) и (2.79).

Решение:

$К_{ог}$ определим по формуле (2.77):

$$K_{OГ} = \frac{t_{cp}\exp\left\{-\frac{\tau}{t_{cp}}\right\}(1-\exp\left\{-\frac{T_{np}}{t_{cp}}\right\})}{T_{np}+t_B+(t_0-t_B)\exp\left\{-\frac{T_{np}}{t_{cp}}\right\}} = \frac{2000\cdot e^{-\frac{150}{2000}\cdot\left(1-e^{-\frac{1700}{2000}}\right)}}{1700+70+(40-70)\cdot e^{-\frac{1700}{2000}}} = 0,6.$$

$K_{ти}$ определим по формуле (2.79) :

$$K_{ти} = \frac{t_{cp}(1-e^{-\frac{T_{np}}{t_{cp}}})}{T_{np}+t_B+(t_0-t_B)\exp\left\{-\frac{T_{np}}{t_{cp}}\right\}} = \frac{2000\cdot\left(1-e^{-\frac{1700}{2000}}\right)}{1700+70+\left(40-70\right)\cdot e^{-\frac{1700}{2000}}} = 0,65.$$

Практическое занятие № 7 Обоснование периодичности технического обслуживания ТУ.

Цель занятия: Изучить основные количественные характеристики надежности. Освоить расчет основных показателей надежности.

Учебные вопросы:

1. Обоснование периодичности технического обслуживания ТУ.
2. Решение практических задач

Литература:

1. А.М.Половко. Основы теории надежности – М.: Издательство «Наука», 1964 г.
2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988 г.

7.1. Обоснование периодичности технического обслуживания ТУ.

Для поддержания надежности ТУ предусматривается профилактическое обслуживание. При выполнении профилактических мероприятий обычно назначаются сроки, время их проведения и объем.

Профилактические мероприятия, на выполнение которых установлены определенная периодичность и время их проведения, называют техническим обслуживанием (ТО).

Объем профилактических работ удобно оценивать затратами времени на их выполнение. Средние затраты времени на выполнение ТО в течении какого-то календарного времени t могут быть определены по формуле:

$$T_{cp}(t) = N_{mo}(t)\sum_{i=1}^{n_0}\tau_{moi} ,$$

где N_{mo}=t/ $T_{mo} \approx$ 1,2,...,n – количество видов ТО за время t (округленное до целого числа);

T_{mo} – периодичность выполнения ТО;

τ_{moi} – среднее время выполнения i-й операции ТО (например, при замере параметра или чистке коллектора электрической машины);

n_{0n} – число операций при выполнении одного вида ТО.

Из формулы следует, что объем ТО зависит от количества операций n_{0n} , записанных в инструкцию по ТО, времени выполнения каждой операции τ_{mo} и периодичности выполнения ТО T_{mo}.

Определим периодичность выполнения ТО при следующих допущениях и ограничениях:

1) образцы являются восстанавливаемыми объектами. Схема работы объекта за время t представляет собой чередование трех возможных состояний: отдыха (хранения), работы по подготовке ТУ к применению, т.е. ТО и, наконец, использование по назначению (рис.7.1) . Причем ТУ находится во включенном состоянии только часть (незначительную часть) времени, остальное время находится в обеспеченном состоянии (в режиме хранения);

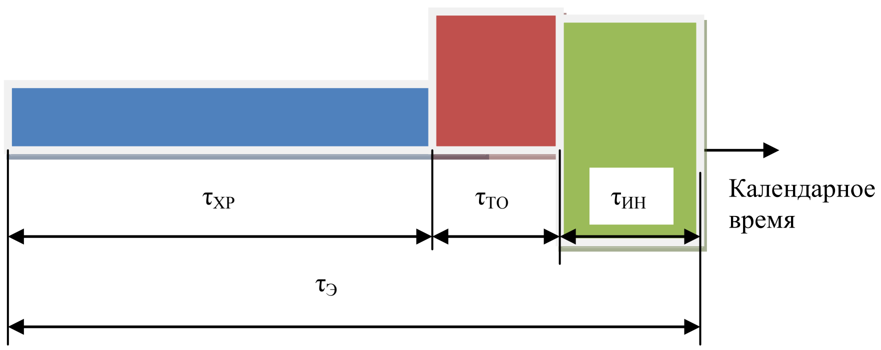


Рисунок 7.1.

2) потоки отказов ТУ в режиме хранения и при работе являются простейшими. Это означает, что отказы ТУ будут независимыми;

3) все отказы, обнаруженные в ТУ во время выполнения ТО, устраняются;

4) часть отказов (преимущественно постепенных, обусловленных в основном выходом параметров за поле допуска) в межрегламентный период не устраняется, так как по этим параметрам отсутствует инструментальный контроль.

С учетом этих условий при выборе периодичности выполнения регламентных работ для поддержания надежности ТУ на уровне не ниже $P_{доп}$ будем исходить из соотношения

$$P(t) >= P_{доп} , \qquad (4.1)$$

где $P_{доп}$ – минимальное допустимое значение вероятности безотказной работы к моменту окончания использования ТУ по назначению, т.е. после истечения трех последовательных состояний (см. рис. 18).

С другой стороны, согласно предполагаемой схеме использования ТУ имеем:

$$P(t)=P_{хр}(t_{хр})P_{то}(t_{то})P_{ин}(t_{ин}) , \qquad (4.2)$$

где $P_{хр}(t_{хр})= e^{-\lambda_{xp}t_{xp}}$ -вероятность безотказного хранения ТУ за время $t_{хр}$;

$P_{то}(t_{то})= e^{-\lambda_{mo}t_{mo}}$ - вероятность безотказной работы ТУ при подготовке его к использованию по назначению за время $t_{то}$ (проведения ТО);

$P_{ин}(t_{ин})= e^{-\lambda_{ин}t_{ин}}$ - вероятность безотказной работы ТУ при использовании по назначению за время $t_{ин}$.

Для оценки сохраняемости удобно использовать коэффициент пересчета параметра потока отказов в виде отношения интенсивности отказа ТУ хранения к периоду ТО

$$K_{xp} = \frac{\lambda_{xp}}{\lambda_{mo}} = \frac{T_{0TO}}{T_{0xp}} , \qquad (4.3)$$

где $\lambda_{хр}$ - значение интенсивности отказов ТУ при хранении;

$\lambda_{то}$- значение интенсивности отказов ТУ при ТО;

$T_{0ТО}$ – средняя наработка на отказ в период ТО;

$T_{0хр}$ – средняя наработка на отказ в хранения.

По аналогии коэффициент использования ТУ по назначению можно рассчитать по формуле

$$K_{ин} = \frac{\lambda_{ин}}{\lambda_{mo}} = \frac{T_{0TO}}{T_{0B}} , \qquad (4.4)$$

где $\lambda_{ин}$ - значение интенсивности отказов ТУ при использовании по назначению;

$T_{0В}$ - средняя наработка на отказ в период восстановления.

Сравнивая соотношения (4.1) и (4.2) , можно записать

$$P_{хр}(t_{хр})P_{то}(t_{то})P_{ин}(t_{ин})>=P_{доп} . \qquad (4.5)$$

Из физических соображений ясно, что при уменьшении периодичности выполнения ТО минимальный уровень надежности $P_{доп}$ будет повышаться (так как часть отказов за счет, например, разрегулировок будет предупреждаться), но вместе с этим будет повышаться и объем ТО, что для нас невыгодно. Поэтому целесообразно брать максимально возможное значение периода ТО, который соответствует равенству в выражении (4.5). Тогда формула (4.5) примет следующий вид :

$$e^{-\lambda_{xp}t_{xp}}\ e^{-\lambda_{mo}t_{mo}}\ e^{-\lambda_{ин}t_{ин}} >= P_{доп} . \qquad (4.6)$$

С учетом выражений (4.3) и (4.4) левую часть формулы можно упростить:

$$e^{-\lambda_{xp}t_{xp}}\ e^{-\lambda_{mo}t_{mo}}\ e^{-\lambda_{ин}t_{ин}} = e^{-\lambda_{vmo}(K_{xp}t_{xp}+t_{mo}+K_{ин}t_{ин})} = e^{-\lambda_{mo}Tmo\max}, \qquad (4.7)$$

где $T_{mo\max}$ – максимальный эквивалентный период выполнения ТО.

Тогда формулу (4.6) с учетом выражения (4.7) можно записать

$$e^{-\lambda_{mo}Tmo\max} = P_{доп}\ . \qquad (4.8)$$

Если прологарифмировать уравнение (4.8), то выражение $T_{mo\max}$ (с учетом введенных обозначений) можно записать в следующем виде:

$$T_{T0MAX} = K_{XP}t_{XP} + t_{m0} + K_{ИН}t_{ИН} = -\frac{\ln P_{доп}}{\lambda_{m0}} = T_{03}\ln P_{доп} = T_{03}\left|\ln P_{доп}\right| \qquad (4.9)$$

*Из формулы (4.*9) следует, что в основу назначения периодичности Т0 для ТУ необходимо положить смешанный принцип:

- в зависимости от времени хранения t_{xp};
- в зависимости от наработки $t_{ин}$ и t_{m0} .

Поэтому при эксплуатации ТУ надо строго учитывать время его работы.

Зная величины t_{m0} и t_{xp}, из формулы (4.9) легко найти допустимое максимальное время хранения, удовлетворяющее равенствам (4.6) – (4.9),

$$t_{XP}^{0} = \frac{T_{03}\left|\ln P_{доп}\right| - t_{m0} - K_{ИН}t_{ИН}}{K_{XP}}, \qquad (4.10)$$

С другой стороны, максимально возможный период между Т0 можно получить, как сумму времен трех состояний

$$T_{T0MAX} = t_{m0} + t_{ИН} + t_{XP}, \qquad (4.11)$$

где t_{xp} – допустимое максимальное время хранения, определяемое по формуле (4.10).

Тогда выражение (4.11) с учетом формулы (4.10) принимает вид:

$$T_{m0MAX} = t_{m0} + t_{ИН} + \frac{T_{03}\left|\ln P_{доп}\right| - t_{m0} - K_{ИН}t_{ИН}}{K_{XP}}, \qquad (4.12)$$

Приведя формулу (4.12) к общему знаменателю, имеем

$$T_{m0MAX} = \frac{T_{03}\left|\ln P_{доп}\right| + t_{m0}(K_{XP}-1) + (K_{XP}-K_{ИН})t_{ИН}}{K_{XP}}, \qquad (4.13)$$

После нахождения подобных членов получим

$$T_{m0MAX} = \frac{T_{03}\left|\ln P_{доп}\right| + t_{m0}(K_{XP} - 1) + (K_{XP} - K_{ИН})t_{ИН}}{K_{XP}}, \qquad (4.14)$$

Формула (4.14) является окончательной и весьма точной. Однако для качественного анализа ее упростим.

На практике для современных ТУ величины коэффициентов пересчета могут быть приближенно оценены следующими значениями:

$$\begin{aligned} K_{XP} &\approx (1-10)10^{-3} \\ K_{ИН} &\approx 10^{-1} \end{aligned}, \qquad (4.15)$$

Заметим, что $К_{хр} << К_{ин}$.

С учетом коэффициентов (4.15) формулу (4.14) можно записать в следующем виде:

$$T_{m0MAX} \approx \frac{T_{03}\left|\ln P_{доп}\right| - t_{m0} - K_{ИН}t_{ИН}}{K_{XP}}, \qquad (4.16)$$

Формула (4.16) является приближенной, по ней в количественном отношении может быть произведена лишь грубая оценка $Т_{m0max}$, так как нам не известны точные значения $К_{хр}$,$К_{ин}$ и трудно задать нужное $Р_{доп}$. Однако она хороша для чисто качественного анализа зависимости $Т_{m0max}$. Поэтому и сделаем из нее необходимые выводы:

1. Чем больше $Т_{03}$, т.е. чем потенциально более надежное ТУ при работе, тем больше $Т_{m0max}$, т.е. реже нужно проводить ТО.
2. Чем больше заданный уровень надежности ТУ к концу периода его использования по назначению $Р_{доп}$ (тем меньше абсолютное значение $\ln Р_{доп}$), тем меньше $Т_{m0max}$, т.е. тем чаще необходимо выполнять ТО.
3. Чем больше $t_{ин}$, тем меньше $Т_{m0max}$ (тем чаще необходимо проводить ТО, так как при использовании ТУ по назначению на него воздействуют все многообразие факторов, снижающих надежность).
4. Чем меньше $К_{ин}=Т_{03}/Т_{0В}$ (при фиксированном значении $Т_{03}$ меньшее значение $К_{ин}$ возможно только при большей величине $Т_{0В}$, т.е. при более высоконадежной работе ТУ), тем больше $Т_{m0max}$, т.е. тем реже можно проводить ТО.
5. Чем меньше $К_{хр}=Т_{03}/Т_{0хр}$ (а это возможно для данного ТУ с его $Т_{03}$ только при большем значении показателя безотказности в период хранения), тем больше $Т_{m0max}$.

Пример.

В соответствии с ТЗ ТУ имеет следующие характеристики: $Р_{доп}$= 0,7; $Т_{03}$ =3500 ч. Определить периодичность технического обслуживания

ТУ при расчетном времени использования по назначению 5 лет и времени необходимого на проведение ТО $t_{ТО} = 250$ часов.

Решение:

По выражению (4.16)

$$T_{m0MAX} \approx \frac{T_{03}\left|\ln P_{доп}\right| - t_{m0} - K_{ИН}t_{ИН}}{K_{ХР}} = \frac{3150\,|\ln 0{,}7\,| - 250 - 5\cdot 8640\cdot 10^{-3}}{10^{-1}} = 8723 \text{ ч} =$$

= 1,01 года.

Вывод: Периодичность технического обслуживания ТУ при данных условиях должна проводиться 1 раз в год.

Рассмотренный подход, прежде всего, характерен для объектов, у которых период хранения составляет значительную часть времени эксплуатации, а период использования по назначению гораздо меньше периода хранения, например объекты военного назначения.

Для объектов (ТУ) общего назначения (промышленных) более характерен график, представленный на рис.7.2, где время эксплуатации складывается из времени использования по назначению и времени технического обслуживания (ремонта). При этом время нахождение в режиме хранения незначительно ($\tau_{хр} = 0$).

$\tau_{эк} = n(\tau_{ин} + \tau_{то})$,

где n – количество ТО (регламентов) за период эксплуатации.

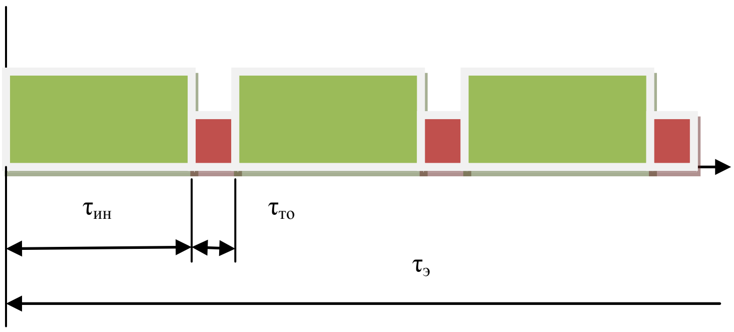


Рисунок 7.2.

Определение периодичности ТО для подобных объектов производится по выражению

$$T_{T0MAX} = -\frac{\ln P_{доп}}{\lambda_{m0}} = -T_{0ТО}\ln P_{доп}\,, \qquad (4.17)$$

где $\lambda_{то}$ – интенсивность отказа элементов (системы) в период ТО,

$T_{oTO} = \dfrac{1}{\lambda_{TO}}$ - средняя наработка на отказ в период ТО.

Пример.

Определить периодичность ТО системы, если заданы допустимая вероятность безотказной работы $P_{доп}$ = 0,75 и средняя наработка на отказ системы при ТО T_{0TO}=30000 ч.

Решение:

По выражению (4.17)

$$T_{T0MAX} = -\frac{\ln P_{доп}}{\lambda_{m0}} = -T_{0TO}\ln P_{доп} = -30000 \cdot \ln 0{,}75 = -30000 \cdot (-0{,}288) = 8640 ч.$$

Вывод: Периодичность ТО системы 1раз в год.

Практическое занятие № 8 Расчет комплектов запасных частей, инструмента и принадлежностей

Цель занятия: Изучить методику расчета комплектов запасных частей, инструмента и принадлежностей

Учебные вопросы:

1. Расчет количества запасных невосстанавливаемых элементов.
2. Оценка потребного количества запасных ремонтируемых ТУ.

\Литература:

1. А.М.Половко. Основы теории надежности – М.: Издательство «Наука», 1964 г.
2. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высшая школа, 1988 г.

8.1. Расчет количества запасных невосстанавливаемых элементов.

Для обеспечения возможности быстрого восстановления ТУ путем замены комплектующих элементов необходимо иметь запасные элементы в количестве Z, не меньшем, чем ожидаемое количество отказов $n_{от}$ за определенное время t. Математическим языком это выражается так: $Z \geq n_{от}$ за время t .

За расчетное время t принимается обычно календарный год или другое время, в течение которого не предполагается пополнение запаса.

Точное значение $n_{от}$ нам неизвестно. Поэтому мы можем довольствоваться только простейшим случаем, когда

$$Z \geq n_{от} \geq n_{ср}, \qquad (8.1)$$

где $n_{ср}$ - среднее количество ожидаемых отказов какого-то элемента за указанное время t.

Найдем $n_{ср}$ при следующих допущениях: поток отказов является простейшим, число элементов данного типа в системе равно N, элементы за период t находятся в рабочем режиме времени $t_р$ и имеют при этом интенсивность отказов $\lambda_р$, остальное время $t\text{-}t_р$, простаивают, т.е. находятся в режиме простоя времени $t_{пр}$ и имеют при этом интенсивность отказов $\lambda_{пр}$.

Тогда среднее число отказов

$$n_{ср} \approx N(\lambda_р t_р + \lambda_{пр} t_{пр}), \qquad (8.2)$$

Неравенство (4.17) с учетом выражения (4.18) принимает вид:

$$Z \geq N(\lambda_р t_р + \lambda_{пр} t_{пр}) = n_{ср}, \qquad (8.3)$$

В реальных случаях число отказов $n_{от}$ может быть больше или меньше среднего значения $n_{ср}$, поэтому необходимо знать, какова вероятность того, что число отказов $n_{ср}$ не превысит числа запасных элементов, т.е.

$$\gamma = P\{n_{ср} <= Z\}, \qquad (8.4)$$

Если бы нам потребовалось найти вероятность того, что произойдет ровно M отказов, то для простейшего потока отказов она определилась бы по формуле Пуассона

$$P_M = \frac{n_{CP}^M}{M!} e^{-n_{ПР}}, \qquad (8.5)$$

Но мы не знаем, сколько будет отказов за время t, поэтому должны перебрать все вероятности от M=0 до M=Z. Тогда вероятность того, что среднее число отказов $n_{ср}$ не превысит числа запасных элементов Z (т.е. доверительную вероятность), можно записать в виде суммы вероятностей P_M

$$\gamma = \sum_{M=0}^{Z} P_M = \sum_{M=0}^{Z} \frac{n_{CP}^M}{M!} e^{-n_{CP}}, \qquad (8.6)$$

Теперь из выражения (4.22) видна зависимость (функция)

$$Z = \varphi(\gamma, n_{ср}), \qquad (8.7)$$

Эта функция затабулирована, и ее значения приводятся в таблицах справочников. Вычислив $n_{ср}$ и задаваясь γ, по табл.8.1 находят Z.

Следует отметить, что на практике произведение $\lambda_{пр}t_{пр}$ обычно бывает неизвестным из-за того, что все отказы, возникшие при простое, появляются только во время включенного состояния аппаратуры, поэтому их относят, как правило, к отказам за счет работы аппаратуры.

Поэтому среднее число отказов на практике подсчитывается по формуле

$$n_{ср} \approx N\lambda_p t_p \,, \tag{8.8}$$

При расчетах следует иметь в виду также, что запасные элементы Z, хранящиеся на складах, тоже могут отказывать, поэтому в рассчитанное количество запасных элементов необходимо внести поправку z, которая подсчитывается:

$$z \approx Z\lambda_{хр}t_{хр} \,, \tag{8.9}$$

где $\lambda_{хр}$ – интенсивность отказов при хранении (на складах);

$t_{хр}$ – время хранения.

Таким образом, общее количество запасных элементов

$$Z_0 = Z + z, \tag{8.10}$$

<u>Пример.</u>

Определить необходимое число запасных элементов для системы, если известно, что поток отказов является простейшим, число элементов данного типа в системе равно 20, элементы за период t находятся в рабочем режиме времени t_p = 10000 ч и имеют при этом интенсивность отказов λ_p =2 10^{-5} 1/ч. Элементы системы не восстанавливаемые.

Решение:

В соответствии с выражением (8.8) определяем

$$n_{ср} \approx N\lambda_p t_p = 20 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10000 = 4 .$$

С учетом (8.1) $Z \geq n_{от} \geq n_{ср} = 4$.

Вывод: Система должна иметь 4 запасных элемента данного типа.

Таблица 8.1 - Значение функции Z<= $\varphi(\gamma, n_{ср})$. К определению количества запасных элементов.

$n_{ср}$	γ					
	0.8	0.85	0.9	0.95	0.98	0.99
10	13	13	14	15	17	18
20	24	25	26	27	29	31
30						
40	45	46	48	50	53	55
50						

60	66	66	70	73	76	78
80	87	89	92	95	99	101
100	108	110	113	116	120	124
200	210	216	219	222	228	233
500	516	521	527	535	542	559

8.2. Оценка потребного количества запасных ремонтируемых ТУ.

На первый взгляд задача по определению количества запасных блоков кажется аналогичной предыдущей. Следует, казалось бы, только условиться, что под элементом мы будем понимать блок, узел т.п. Но это не так просто. В предыдущей задаче мы имели дело с невосстанавливаемыми элементами типа электрических ламп, конденсаторов, резисторов и др., а здесь – с ремонтируемыми объектами: блоками, узлами и даже целыми системами, которые при нормальной организации технической эксплуатации обязательно надо иметь в качестве запасных. Очевидно, что количество запасных блоков, узлов должно быть меньше ожидаемого количества их отказов за данный промежуток времени. Так как каждый запасной объект нужен для подмены рабочего только на время ремонта последнего. А по условию ординарности простейшего потока невозможно, чтобы отказали одновременно все блоки, узлы или станции.

Задача формируется так. Требуется определить количество запасных блоков Z, необходимых для функционирования системы, состоящей из N блоков (это могут быть, например, стойки, пульты, установленные на однотипных агрегатах) с вероятностью P(Z) того, что система будет обеспечена запасными блоками, т.е. с доверительной вероятностью. Эта задача является трудной, поэтому мы ее лишь сформулируем, укажем план решения и затем приведем окончательный результат. Такая задача обычно решается при следующих ограничениях:

1) распределение времени до отказа блока подчиняется экспоненциальному закону при интенсивности отказов, равной λ;
2) время на замену неисправного блока начинается сразу же после отказа, а интенсивность восстановления равна $\mu=1/T_B$;
3) все случайные величины времени безотказной работы и времени восстановления взаимонезависимы, но выполняется условие

$$N\lambda/\mu=a<1, \qquad (8.11)$$

где $N\lambda$ - интенсивность отказов системы из N блоков;

μ - интенсивность восстановления только одного блока.

Накладывая условие (8.11), мы хотим, чтобы первая интенсивность была меньше второй. Это необходимо для того, чтобы не было простоев ТУ из-за отсутствия уже отремонтированных блоков;

4) отказ системы блоков происходит только тогда, когда в момент отказа нет ни одного запасного блока, т.е. в самой худшей из возможных практических ситуаций;
5) все блоки поддаются ремонту.

При этих ограничениях вероятность P(Z) того, что рассматриваемая система будет обеспечена запасными блоками, может быть найдена. На практике для приближенного расчета Z интересуются вероятностью противоположного события, т.е. вероятностью Q(Z) необеспечения системы запасными блоками

$$Q(Z)=1-P(z) . \tag{8.12}$$

Доказано, что минимально необходимое число запасных блоков (узлов) Z должно быть таким, чтобы выполнялось следующее неравенство:

$$Q(Z)\rangle \frac{\alpha^{Z+1}}{(Z+1)!}e^{-\alpha} . \tag{8.13}$$

Значение Z, удовлетворяющие неравенству (8.13), находятся (путем подбора) следующим образом.

По заданному значению P(Z) с помощью выражения (8.12) находят Q(Z). Затем, назначая Z целыми числами, т.е. 1,2,3 и т.д., подсчитывают правую часть неравенства (8.13). Минимальное значение Z , при котором неравенство (8.13) выполняется, принимается как результат оценки потребного количества запасных блоков ил узлов ТУ.

Рассмотренная методика оценки Z не претендует на полноту и соблюдение всех математических строгостей, однако она вполне удовлетворяет интересам инженерной практики.

<u>Пример.</u>

В состав системы входят 22 однотипных блока. Интенсивность отказов системы $\lambda = 1\ 10^{-3}$ 1/ч. Для восстановления неисправного блока необходимо 100 часов (T_B =100 ч). Определить количество запасных блоков необходимых для функционирования системы с доверительной вероятностью P(Z)=0,8.

Решение:

По выражению (8.12) определим

Q(Z)=1-P(z) = 1 – 0,8=0,2.

По заданному значению T_B =100 ч определим $\mu=1/T_B$ =1/100 =0,01 1/ч.

По выражению (8.11) определим

$$a = N\lambda/\mu=\frac{22\cdot 10^{-3}}{0,01}=2,2$$

Полученные значения подставим в выражение (8.13)

Для Z+1 - $0{,}2 \succ \frac{2{,}2^{1+1}}{(1+1)!} e^{-2{,}2} = 0{,}27$ - неравенство не выполняется.

Для Z+2 - $0{,}2 \succ \frac{2{,}2^{2+1}}{(2+1)!} e^{-2{,}2} = 0{,}195$ - неравенство выполняется.

Вывод: необходимое количество запасных блоков для системы – 2.

Вопросы для самопроверки:

1. Введения в дисциплину.
2. Характеристика научно-технического направления "надежность техники".
3. Предмет, задачи теории надежности, ее значение в подготовке инженера.
4. Основные понятия теории надежности.
5. Характеристика состояний технического объекта.
6. Свойства надежности технических систем.
7. Показатели оценки свойств технических систем.
8. Количественные характеристики надежности не восстанавливаемых объектов.
9. Количественные характеристики надежности восстанавливаемых объектов.
10. Основные показатели ремонтопригодности, долговечности и сохраняемости.
11. Факторы, влияющие на надежность технических устройств
12. Постановка задачи управления надежностью техники.
13. Факторы, влияющие на надежность.
14. Классификация методов расчета систем на надежность.
15. Расчет надежности систем при основном соединении элементов и внезапных отказах.
16. Коэффициентный метод расчета.

17. Расчет надежности систем с учетом восстановлений.
18. Расчет надежности при внезапных отказах
19. Коэффициентный метод расчета
20. Учет периода приработки
21. Расчет надежности при постепенных отказах
22. Матричный метод расчета
23. Спектральный метод расчета
24. Основы расчета
25. Расчет надежности, основанный на использовании параллельно-последовательных структур
26. Последовательность логико-вероятностных расчетов надежности резервированных систем
27. Методы повышения надежности сложных систем.
28. Резервирование.
29. Уменьшение интенсивности отказов элементов.
30. Сокращение времени непрерывной работы.

Список использованных источников

1. Алымов В. Т. Техногенный риск: Анализ и оценка: учебное пособие. - М.: Академия, 2005. -118 с.

2.Гуськов А. В. Надежность технических систем и техногенный риск: учебник / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский. – Новосибирск: НГТУ, 2007. – 427 с.

3.Шубин В. С. Надежность оборудования химических и нефтеперерабатывающих производств: учеб. пособие. - М.: Химия, КолосС, 2006. – 359 с.

Дополнительная литература

4.Ковалев А. П. Экономическое обеспечение надежности машин / А. П.

Ковалев, В. И. Кантор, А. Б. Можаев. - М.: Машиностроение, 1991. —240 с.

5. ГОСТ27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности [Электронный ресурс]. - Режим доступа:

http://cert.obninsk.ru/gost/279/279.html. - Загл. с экрана.

4. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ / Б. В. Гнеденко,

5. Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. - М.: Наука, 1965. - 524 с

Обеспечение и методы оптимизации надежности химических и нефте¬

перерабатывающих производств / В. В. Кафаров [и др.]. - М.: Химия, 1987

6. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. М., 1990 г.

7. ГОСТ 27.003.90 Надежность в технике. Состав и общие правила: задания требований по надежности. М., 1991 г

8. ГОСТ 27.31.95 Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. М., 1996 г.

9. ГОСТ 27.402.95 Надежность в технике. Планы испытаний для контроля времени наработ ГОСТ 27.410.87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы испытаний на надежность. М., 1988 г ки на отказ. (Экспоненциальное распределение). М.,1996 г

10. МЭК 1025. Анализ деревьев отказов. М., 1990 г

11. МЭК 1078 Методы анализа надежности. Методы расчета безотказности с использованием блок - схем. М., 1992 г