**Практическая работа № 5 «Расчет надежности сложных систем»**

**Цель:** научить студентов определять показатели надежности объектов, представляющих сложные системы.

**Задачи обучения:**

* ознакомить с методами резервирования;
* привить навыки построения структуры сложной системы;
* научить рассчитывать показатели надежности системы без резервирования;
* научить рассчитывать показатели надежности системы с резервированием.

**Методы и формы обучения и преподавания:** индивидуальная работа, работа в парах; ситуационные задачи, выполнение домашних заданий.

**Материально- техническое оснащение:**

Калькулятор или компьютер с программами EXCEL или MathCAD.

**Задания и методические указания к их выполнению (алгоритм, форма, сроки отчетности, критерии оценивания):**

Работа студента на занятии оценивается в 1-3 балла в зависимости от активности студента на занятии при решении задач, точности формулировок основных понятий и определений.

**Пример 6.1.** Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа основной системы, состоящей из пяти элементов, если вероятности безотказной работы элементов равны P1(t)=0,98, P2(t)=0,97, P3(t)=0,99, P4(t)=0,98, P5(t)=0,96.

**Решение:** вероятность безотказной работы системы *Pс(t)* определяем по формуле (3.1):

,

вероятность отказа *Qc(t)* системы определяется по формуле (3.5):

.

**Ответ:**.

**Пример 6.2.** Определить среднее время безотказной работы системы, если система состоит из трех элементов, среднее время безотказной работы которых равны 400, 200 и 500 часов, закон распределения – экспоненциальный.

**Решение:** Определим интенсивности отказов элементов по формуле (2.11)

*1/час*; *1/час*;

*1/час.*

Интенсивность отказа системы определяем по формуле (3.7)

 *1/час.*

Наработку до отказа системы рассчитаем по формуле (3.8)

*час*.

**Ответ:** *час*.

**Пример 6.3.** Система состоит из трех элементов, вероятность безотказной работы которых в течении 100 часов равны Р1(100) = 0,95; Р1(100) = 0,99; Р3(100) = 0,97. Найти среднее время безотказной работы системы, закон распределения – экспоненциальный.

**Решение:** Определим вероятность безотказной работы системы

**.**

Выразим интенсивность отказа системы из формулы (3.6)

.

Среднее время безотказной работы системы определяем по формуле (3.8)

 *час.*

**Ответ:**  *час.*

**Пример 6.4.** Система состоит из 6000 элементов, средняя интенсивность отказов которых λср=5,4\*10-7 1/час. Определить вероятность безотказной работы, вероятность отказа, плотность вероятности времени безотказной работы за время 100 часов, и среднее время безотказной работы.

**Решение:** Интенсивность отказов системы определяем по формуле (3.7)

.

Вероятность безотказной работы рассчитаем по формуле (3.6)

,

Вероятность отказа системы



Наработка до отказа системы

*час*.

Плотность вероятности времени безотказной работы

*1/час.*

**Пример 6.6.** Система состоит из трех элементов с равной вероятностью безотказной работы равной 0,9. Определить вероятности безотказной работы системы при различных вариантах резервирования.

**Решение:** а) расчет показателей надежности системы без резервирования:

Вероятность безотказной работы системы без резервирования определяется по формуле (2.1):

,

Вероятность отказа системы без резервирования определяем по формуле (2.5)

.

б) расчет показателей надежности системы при общем резервировании:

Структурная схема системы с общим резервированием показана на рисунке 3.3.



Рисунок 6.1 – Схема системы с общим резервирование:

Р11, Р12, Р13 – вероятности безотказной работы элементов основной системы;

Р21, Р22, Р23 – вероятности безотказной работы элементов резервной системы

Вероятность отказа системы с общим резервированием определяется по формуле (2.6):

,

где *QOC(t)* – вероятность отказа основной системы;

*QPC(t)* – вероятность отказа резервной системы.

Вероятность отказа основной системы определяем по формуле (2.5)

.

Вероятность отказа резервной системы равна

.

Вероятность отказа системы:

.

Вероятность безотказной системы с общим резервированием определяем по формуле (2.8)

.

в) расчет показателей надежности системы при поэлементном резервировании:

Структурная схема системы с поэлементным резервированием показана на рисунке 3.4.



Рисунок 6.2 – Схема системы с поэлементным резервирование:

Р11, Р12, Р13 – вероятности безотказной работы основных элементов;

Р21, Р22, Р23 – вероятности безотказной работы резервных элементов

Вероятность безотказной работы системы с поэлементным резервированием определяем по формуле (2.6):

,

где *Р11-21(t)* – вероятность безотказной работы группы из первого основного и резервного элементов;

*Р12-22(t)* – вероятность безотказной работы группы из второго основного и резервного элементов;

*Р13-23(t)* – вероятность безотказной работы группы из третьего основного и резервного элементов.







Вероятность безотказной работы системы с поэлементным резервированием:

,

Так как вероятности безотказной работы групп элементов близки к единице, можно было воспользоваться формулой для приближенного расчета (2.3):

.

Вероятность отказа основной системы определяем по формуле (2.5)

.

**Ответ:** для системы без резервирования: ,; для системы с общим резервированием , ; для системы с поэлементным резервированием: , . Таким образом, максимальная надежность достигается при поэлементном резервировании.

*Задания для самостоятельной работы студентов*

**Задача 6.1.** Определить вероятность безотказной работы системы, состоящей из 500 элементов, если вероятность безотказной работы каждого элемента в течение времени *t* равна P(t) = 0,998.

**Задача 6.2.** Вероятность безотказной работы системы, состоящей из 150 равнонадежных элементов, в течение времени t равна Рc(t)=0,95. Найти вероятность безотказной работы элемента.

**Задача 6.3.** Блок управления состоит из 5000 элементов, средняя интенсивность отказов которых равна 2,3·10-6 1/час. Определить вероятность безотказной работы в течении t = 100 час и среднее время безотказной работы.

**Задача 6.4.** Система состоит из пяти элементов, среднее время безотказной работы которых равно: Т1=104 час; Т2=200 час; Т3=185 час; Т4=350 час; Т5=620 час. Показатели распределены по экспоненциальному закону. Определить среднее время безотказной работы системы.

**Задача 6.5.** Прибор состоит из пяти блоков. Вероятность безотказной работы каждого блока в течение времени t = 50 час равна: P1(50)=0,98; P2(50)=0,99; P3(50)=0,998; P4(50)=0,975; P5(50)=0,985. Справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется найти среднее время безотказной работы прибора.

**Задача 6.6.** Установка состоит из 3000 элементов, средняя интенсивность отказов которых 3,8·10-6 1/час. Определить вероятность отказа установки в течении t = 300 час и среднее время безотказной работы аппаратуры.

**Задача 6.7.** Объект состоит из 200000 элементов, средняя интенсивность отказов которых 0,2·10-6 1/час. Определить вероятность безотказной работы системы в течение 240 часов и среднее время безотказной работы.

**Задача 6.8.** Прибор состоит из 5 узлов. Надежность узлов характеризуется вероятностью безотказной работы в течение времени t , которая равна: P1(t)=0,98; P2(t)=0,99; P3(t)=0,998; P4(t)=0,975; P5(t)=0,985. Необходимо определить вероятность безотказной работы прибора.

**Задача 6.9.** Определить количество равнонадежных резервных элементов с вероятностью безотказной работы Pi(t)=0,9,необходимых для того, чтобы обеспечить вероятность безотказной работы системы равную Pс(t)=0,99.

**Задача 6.10.** Система состоит из четырех элементов, имеющих интенсивность отказов равную λ1 = 2,7·10-7 1/час, λ2 = 3,2·10-7 1/час, λ3 = 2,1·10-7 1/час, λ4 = 4,3·10-7 1/час. Изобразить структурную схему системы и определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа в течение 60 часов при общем резервировании системы.

**Задача 6.11.** Система состоит из четырех элементов, имеющих интенсивность отказов равную λ1 = 2,7·10-7 1/час, λ2 = 3,2·10-7 1/час, λ3 = 2,1·10-7 1/час, λ4 = 4,3·10-7 1/час. Изобразить структурную схему системы и определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа в течение 60 часов при поэлементном резервировании системы.

**Задача 6.12.** Система состоит из одного элемента с вероятностью безотказной работы равной 0,93, резервный элемент имеет вероятность безотказной работы 0,95. Определить вероятность безотказной работы системы после замещения основного элемента резервным, сделать вывод.

**Задача 6.13.** Система состоит из трех элементов с вероятностью безотказной работы равной P1(t)=0,9, P2(t)=0,92, Pi(t)=0,87. Определить вероятности безотказной работы системы при различных вариантах резервирования.

**Задача 6.14.** Определить количество резервных элементов с вероятностью отказа равной 0,05, для того, чтобы вероятность безотказной работы системы была равна Pс(t)=0,999.

**Задача 6.15** Система состоит из трех элементов с вероятностью безотказной работы равной P1(t)=0,9, P2(t)=0,92, P3(t)=0,87. Определить время безотказной работы системы при общем резервировании.

**Задача 6.16** Система состоит из трех элементов с вероятностью безотказной работы равной P1(t)=0,9, P2(t)=0,92, P3(t)=0,87. Определить время безотказной работы системы при поэлементном резервировании.

**Задача 6.17.** Определить вероятность безотказной работы системы, состоящей из 1750 элементов, если вероятность безотказной работы каждого элемента в течение времени *t* равна P(t) = 0,897.

**Задача 6.18.** Вероятность безотказной работы системы, состоящей из 150 равно надежных элементов, в течение времени t равна Рc(t)=0,85. Найти вероятность безотказной работы элемента.

**Задача 6.19.** Блок управления состоит из 5005 элементов, средняя интенсивность отказов которых равна 1,85·10-7 1/час. Определить вероятность безотказной работы в течении t = 910 час и среднее время безотказной работы.

**Задача 6.20.** Система состоит из пяти элементов, среднее время безотказной работы которых равно: Т1 = 61 час; Т2 = 98 час; Т3 = 121 час; Т4 = 159 час; Т5 = 217 час. Показатели распределены по экспоненциальному закону. Определить среднее время безотказной работы системы.

**Задача 6.21.** Прибор состоит из 7 блоков. Вероятность безотказной работы каждого блока в течение времени t = 75 час равна: P1(75) = 0,89; P2(75) = 0,87; P3(75) = 0,95; P4(75) = 0,9; P5(75) = 0,813, P6(75) = 0,999, P7(75) = 0,91. Справедлив экспоненциальный закон надежности. Требуется найти среднее время безотказной работы прибора.

**Задача 6.22.** Установка состоит из 1500 элементов, средняя интенсивность отказов которых 9,5·10-5 1/час. Определить вероятность отказа установки в течении t = 500 час и среднее время безотказной работы аппаратуры.

**Задача 6.7.** Объект состоит из 200000 элементов, средняя интенсивность отказов которых 0,2·10-6 1/час. Определить вероятность безотказной работы системы в течение 240 часов и среднее время безотказной работы.

**Задача 6.8.** Прибор состоит из 5 узлов. Надежность узлов характеризуется вероятностью безотказной работы в течение времени t , которая равна: P1(t)=0,98; P2(t)=0,99; P3(t)=0,998; P4(t)=0,975; P5(t)=0,985. Необходимо определить вероятность безотказной работы прибора.

**Задача 6.9.** Определить количество равнонадежных резервных элементов с вероятностью безотказной работы Pi(t)=0,9,необходимых для того, чтобы обеспечить вероятность безотказной работы системы равную Pс(t)=0,99.

**Задача 6.10.** Система состоит из четырех элементов, имеющих интенсивность отказов равную λ1 = 2,7·10-7 1/час, λ2 = 3,2·10-7 1/час, λ3 = 2,1·10-7 1/час, λ4 = 4,3·10-7 1/час. Изобразить структурную схему системы и определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа в течение 60 часов при общем резервировании системы.

**Задача 6.11.** Система состоит из четырех элементов, имеющих интенсивность отказов равную λ1 = 2,7·10-7 1/час, λ2 = 3,2·10-7 1/час, λ3 = 2,1·10-7 1/час, λ4 = 4,3·10-7 1/час. Изобразить структурную схему системы и определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа в течение 60 часов при поэлементном резервировании системы.

**Задача 6.12.** Система состоит из одного элемента с вероятностью безотказной работы равной 0,93, резервный элемент имеет вероятность безотказной работы 0,95. Определить вероятность безотказной работы системы после замещения основного элемента резервным, сделать вывод.

**Задача 6.13.** Система состоит из трех элементов с вероятностью безотказной работы равной P1(t)=0,9, P2(t)=0,92, Pi(t)=0,87. Определить вероятности безотказной работы системы при различных вариантах резервирования.

**Задача 6.14.** Определить количество резервных элементов с вероятностью отказа равной 0,05, для того, чтобы вероятность безотказной работы системы была равна Pс(t)=0,999.

**Задача 6.15** Система состоит из трех элементов с вероятностью безотказной работы равной P1(t)=0,9, P2(t)=0,92, P3(t)=0,87. Определить время безотказной работы системы при общем резервировании.

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте характеристику сложной системы.
2. Как рассчитываются показатели надежности системы без резервирования (основной системы)?
3. Что такое резервирование?
4. Какие используются виды резервирования?
5. Дайте определение и характеристику общему и поэлементному резервированию.
6. Дайте определение и характеристику постоянному резервированию и резервированию замещением.
7. Дайте определение и характеристику резервированию с восстановлением и без восстановления.

**Литература:**

1. Острейковский В.А. Теория надежности: учебник для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Высшая школа, 2008. – 464 с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.