

Общие методические указания

В соответствии с учебным графиком для студентов, обучающихся по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», предусмотрено выполнение одного индивидуального домашнего задания (ИДЗ), которое заключается в **решении всех задач по четырем указанным темам**. Выполнение этого ИДЗ необходимо для закрепления теоретических знаний и приобретения практических навыков вычислений надёжности системы и её резервирования.

Курс «Диагностика и надёжность автоматизированных систем» является основным в теоретической подготовке бакалавра по направлению 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств». Элементы данного курса применяются при выполнении выпускной квалификационной работы. Отсюда следует требование к серьёзному усвоению и осмыслению основных положений данного курса.

Требования к оформлению ИДЗ

При оформлении индивидуального домашнего задания необходимо соблюдать следующие требования:

1. Индивидуальное задание должно иметь титульный лист, оформленный в соответствии со стандартами ТПУ. На титульном листе указываются номер индивидуального задания, номер варианта, название дисциплины; фамилия, имя, отчество студента; номер группы, шифр.

2. Текст индивидуального задания набирается в текстовом процессоре Microsoft Word. Шрифт – Times New Roman, размер 12–14 pt, для набора формул рекомендуется использовать редактор формул Microsoft Equation или MathType.

3. Решения задач следует располагать в той же последовательности, что и задания.

4. Каждая задача должна начинаться с условия задачи, ниже краткая запись задачи, если необходимо – рисунок с условными обозначениями, которые в дальнейшем будут использованы при решении задач.

5. Решение должно быть подробным, с включением промежуточных расчётов и указанием использованных формул.

Варианты ИДЗ и методические указания

Для решения задач ИДЗ необходимо воспользоваться учебным пособием:

1. Шкляр В.Н. Надежность систем управления: учебное пособие / В.Н. Шкляр; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 126 с.

Тема 1. Расчет надёжности систем [1, с. 17–34].

Тема 2. Обеспечение заданного уровня надёжности технических систем [1, с. 35–54, 60–61].

Тема 3. Основные вопросы эксплуатационной надёжности технических систем [1, с. 89–103].

Тема 4. Диагностика автоматизированных систем [1, с. 55–85].

Тема 1. Расчет надёжности систем

1. Интенсивность отказов автоматизированной системы определяется зависимостью $\lambda(t) = b \cdot t^{-1}$. Определите частоту отказов или плотность распределения времени до отказа $a(t)$ автоматизированной системы.

2. Какова вероятность безотказной работы автоматизированной системы в течение средней наработки до отказа, если $\lambda(t) = b \cdot t^{-1}$?

Примечание:
$$\int_0^{\infty} \exp[-c^2 x^2] dx = \sqrt{\pi}/2c.$$

3. Система управления задвижкой имеет показательное или экспоненциальное распределение наработки до отказа. Определите вероятность безотказной работы системы в течение времени, равного средней наработке T .

Найти среднюю наработку до отказа системы управления задвижкой, интенсивность отказов которой равна

$$\lambda(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq t_0; \\ b(t-t_0) & \text{при } t > t_0 \end{cases}, \text{ если } t_0 = 1000 \text{ ч, } b = 10^{-6} \text{ ч}^{-2}.$$

4. Интенсивность отказов системы $\lambda(t) = b \cdot t^{-1}$, $b = 10^{-6} \text{ ч}^{-2}$. Определите вероятность безотказной работы системы $P(t_1, t_2)$ в течение наработки от t_1 до t_2 , если $t_1 = 1000$ ч, $t_2 = 2000$ ч.

По результатам испытания 300 приводов исполнительных механизмов, проводившихся без замен и отказавших в течение 1 000 часов, были получены данные о наработках до отказа, приведённые в табл. 1.

Таблица 1

Интервалы наработки Δt_i , ч	0–100	100–200	200–400	400–600	600–800	800–1000
Число отказов $\Delta n_i(t)$	70	90	60	35	25	20

Вычислить значения и построить графики вероятности безотказной работы, интенсивности отказов, частоты отказов приводов исполнительных механизмов.

5. Известно, что средняя наработка до отказа автоматизированной системы равна 2 000 часов. Требуется, при предположении показательного закона распределения промежутков времени между отказами, определить вероятность того, что система откажет не более четырёх раз в течение наработки в 300 часов.

6. Установлено, что наработка до отказа привода задвижки имеет распределение Вейбулла с параметром $\alpha = 1,8$. Вероятность безотказной работы привода в течение наработки (0, 100) часов равна 0,95. Требуется определить интенсивность отказов в момент времени $t = 100$ ч, и среднюю наработку до отказа привода.

7. Система имеет нормальное распределение наработки до отказа с параметрами $m_t = 1200$ ч, $\sigma_t = 750$ ч. Область возможных значений наработки до отказа $(0, \infty)$. В течение какой наработки $(0, t)$ система будет функционировать с вероятностью безотказной работы не менее, чем 0,95.

8. На насосной станции магистрального трубопровода установлены 3 насоса, наработка до отказа которых определяется нормальным законом распределения с параметрами:

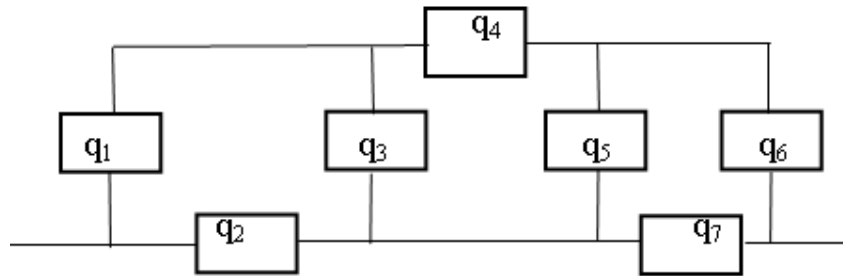
- насос 1: $m_1 = 2800$ ч, $\sigma_1 = 1600$ ч;
- насос 2: $m_2 = 3200$ ч, $\sigma_2 = 1000$ ч;
- насос 3: $m_3 = 4200$ ч, $\sigma_3 = 2000$ ч.

Время безотказной работы системы управления насосами определяется законом Рэлея с параметром $\lambda_C = 2 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Определите, какова будет вероятность безотказной работы манипулятора через неделю непрерывной работы в три смены?

11. Оцените вероятность безотказной работы в течение времени $t = 15\,000$ часов изнашиваемого подвижного соединения, если ресурс по износу подчиняется нормальному распределению с параметрами $m_t = 40\,000$ ч, $\sigma_t = 10\,000$ ч.

Тема 2. Обеспечение заданного уровня надёжности технических систем

1. Структурная схема надёжности системы имеет вид «сложного мостика», показанного на рисунке.



Для элементов 1, 5: $P(t) = e^{-\lambda t^\alpha}$, $\lambda = 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $\alpha = 0,8$;

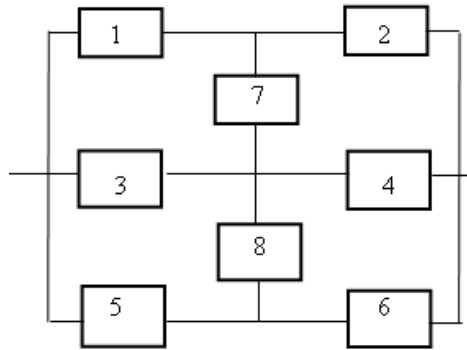
3, 6: $P(t) = e^{-\lambda t^2}$, $\lambda = 4 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$.

Элемент 4 имеет нормальное распределение времени безотказной работы с параметрами $m_t = 2000 \text{ ч}$, $\sigma_t = 200 \text{ ч}$; элементы 2 и 7 имеют экспоненциальное распределение с интенсивностью $\lambda_2 = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_7 = 8 \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$.

Определите вероятность безотказной работы системы в момент времени $t = 1\,500$ часов.

2. Определите вероятность безотказной работы роликового подшипника 2207, нагруженного случайной радиальной силой, коэффициент вариации которой $v_F = 0,1$. Частота вращения внутреннего кольца подшипника $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$. Требуемый ресурс работы равен 3500 часов, а среднее значение эквивалентной нагрузки $\bar{P} = 5000 \text{ Н}$. По каталогу для подшипника 2270 $C_{90} = 25\,600 \text{ Н}$.

3. Найти вероятность безотказной работы за время наработки в 100 часов системы, имеющей структурную схему надёжности, если для звеньев 1, 2, 3, 4, 5, 6 $P(\tau) = 0,95$. Для звена 7 вероятность безотказной работы определяется по закону Вейбулла с параметрами $\alpha = 0,5$; $\lambda = 0,001 \text{ ч}^{-1}$; для звена 8 – по закону Рэлея с параметром $\lambda = 2 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.



4. Определите, при какой средней эквивалентной радиальной нагрузке с коэффициентом вариации $v_F = 0,15$ шариковый подшипник проработает не менее 2 000 часов с вероятностью безотказной работы не ниже 0,95, если скорость вращения внутреннего кольца подшипника $n=1800 \text{ мин}^{-1}$, а 90 % значение динамической грузоподъемности подшипника выбранного типа равно 20000 Н?

Тема 3. Основные вопросы эксплуатационной надёжности технических систем

1. Техническая система состоит из одной основной подсистемы и k подсистем, находящихся в резерве. Вероятность безотказной работы всех подсистем при их работе за время τ равна 0,92. Какова должна быть кратность резервирования при пассивном резервировании и при активном резервировании замещением, чтобы вероятность безотказной работы системы за время τ была не меньше 0,99?

2. Техническая система состоит из одной основной подсистемы и k подсистем, находящихся в резерве. Вероятность безотказной работы всех подсистем при их работе за время τ равна 0,95.

Какова должна быть кратность резервирования:

- а) при активном нагруженном резервировании;
- б) при активном ненагруженном резервировании, чтобы вероятность безотказной работы системы за время 2τ была не меньше 0,95?

3. В вычислительном устройстве применено мажоритарное резервирование. Интенсивность отказов одного не резервированного блока равно $\lambda = 4 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$. Рассчитать вероятность безотказной работы резервированного устройства в течение наработки в 40 часов и среднюю наработку до отказа.

4. В системе управления насосной станции, состоящей из управляющего устройства, имеющего интенсивность отказов $\lambda_y = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$,

информационной системы с интенсивностью отказов $\lambda_{и} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$, системы защиты, применено резервирование с дробной кратностью по схеме «два из трёх» в системе защиты и пассивное дублирование для информационной системы.

Рассчитайте вероятность безотказной работы системы управления в течение наработки в 100 часов, если интенсивность отказов одного канала в системе защиты равна $\lambda_3 = 1 \cdot 10^{-3} \text{ ч}^{-1}$.

5. Не резервированное устройство управления состоит из 400 равно надёжных элементов. Для повышения надёжности системы предполагается провести пассивное раздельное дублирование всех элементов.

Рассчитайте интенсивность отказов одного элемента, чтобы система имела вероятность безотказной работы $P(\tau) = 0,95$, $\tau = 10 \text{ ч}$, если функцией распределения времени безотказной работы элемента является распределение Рэлея.

Тема 4. Диагностика автоматизированных систем

1. При испытаниях партии исполнительных механизмов (ИМ) из 6 штук было установлено, что погрешность позиционирования со временем увеличивается. Данные о погрешностях, полученные для моментов времени эксплуатации $t_1 = 0 \text{ ч}$, $t_2 = 50 + 12N \text{ ч}$ приведены ниже в табл. 2.

Таблица 2

Номер ИМ	1	2	3	4	5	6
Δ [мм] при $t = 0 \text{ ч}$	0,2	0,15	0,18	0,14	0,1	0,16
Δ [мм] при $t = 50 + 12N \text{ ч}$	0,25	0,18	0,21	0,19	0,15	0,22

Для использования ИМ в задвижках нефтепровода необходимо, чтобы погрешность его позиционирования была $\Delta \leq 0,2 \text{ мм}$.

Полагая, что скорость изменения погрешности подчиняется нормальному закону распределения, определите интервал проведения профилактических работ для ИМ данного типа, исключая их постепенные отказы с вероятностью $P \geq 0,9$.

2. Рассчитать время проведения профилактического ремонта системы управления, имеющей значение главного параметра $X_0 = 4,5$, допуск на параметр $(\pm 0,5)$, среднеквадратичное отклонение $\sigma_0 = 0,2$, если известно, что $m(t) = m_0 - 0,1t$, $\sigma(t) = \sigma_0 + 0,03t$, а в момент начала проведения профилактических работ требуемая вероятность $P_{\text{прог}}(t) = 0,98$.

3. Система управления ПР содержит 3 однотипных модуля памяти, выполненных на отдельных платах. При отказе любого из модулей он заменяется модулем (ТЭЗом) из ЗИПа, а затем восстанавливается и возвращается в ЗИП.

Определите, сколько ТЭЗов должно находиться в ЗИПе, если

- интенсивность отказа модуля памяти $\lambda_{\Pi} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$;
- время восстановления платы – 16 часов;
- допустимая недостаточность ЗИПа для модулей памяти не более 0,01?

4. Устройство состоит из четырёх групп элементов, в каждой из которых, соответственно, $N_1 = 35$, $N_2 = 14$, $N_3 = 18$, $N_4 = 26$ элементов с интенсивностями отказов $\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_2 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_3 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, $\lambda_4 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$.

Элементы 2 и 3 групп восстанавливаемы со временем восстановления $\tau_{B2} = 20 \text{ ч}$, $\tau_{B3} = 30 \text{ ч}$. Пополнение элементов 1 и 4 групп в ЗИПе проводится через 500 часов.

Определите, сколько элементов каждой группы должно быть в ЗИПе, чтобы его достаточность была не менее 0,9?

5. Система управления состоит из 10 модулей, неисправность каждого из которых устанавливается тестированием или элементарной проверкой.

Модули соединяются последовательно, в соответствии с их номерами. Интенсивности отказов и продолжительности их тестирования приведены в табл. 3.

Таблица 3

Модуль	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\lambda_{Mi} \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$	2,2	2,3	0,8	4,6	3,1	5,1	0,7	2,5	3,6	1,9
$\tau_{Ti} [\text{мин}]$	25	30	35	18	25	15	35	14	12	35

Определите математическое ожидание времени поиска неисправного модуля, если проверка модулей проводится последовательно, в соответствии с их номерами, до обнаружения неисправного модуля и по оптимальному условному алгоритму. Неисправным является пятый модуль.

Определите время диагностирования для обоих вариантов при безусловном алгоритме диагностирования.

6. Система управления состоит из 8 модулей, неисправность каждого из которых устанавливается тестированием или элементарной проверкой.

Модули соединяются последовательно, в соответствии с их номерами. Интенсивности отказов и продолжительности их тестирования приведены в табл. 4.

Таблица 4

Модуль	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda_{Mi} \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$	1,8	4,3	3,8	6,6	2,1	5,9	8,7	5,5
τ_{Ti} [мин]	25	30	15	18	25	40	35	14

Определите математическое ожидание времени поиска неисправного модуля, если проверка модулей проводится последовательно, в соответствии с их номерами, до обнаружения неисправного модуля и по оптимальному условному алгоритму. Неисправным является пятый модуль.

Определите время диагностирования для обоих вариантов при безусловном алгоритме диагностирования.