

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 13.03.2023 10:45:42

Уникальный программный ключ:

Ob817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabb77e943df4e4851fda56d889

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра технологии материалов и транспорта

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

Локтионова

«13» 03 2023 г.



ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКИ АВТОМОБИЛЕЙ

Методические указания к выполнению практических и
самостоятельных работ для студентов специальности 23.05.01
Наземные транспортно-технологические средства, специализация
«Автомобильная техника в транспортных технологиях» очной и за-
очной форм обучения

Курск 2021

УДК 621. 01

Составители: Л. П. Кузнецова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры технологии материалов и транспорта С.В. Пикалов

Основы теории надежности и диагностики автомобилей: Методические указания к выполнению практических и самостоятельных работ для студентов специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, специализация «Автомобильная техника в транспортных технологиях» очной и заочной форм обучения / Юго-Зап. Гос. ун-т; сост.: Л.П. Кузнецова Курск, 2021. 55 с.: ил. 7, табл. 17, Библиогр.: 7.: с. 55.

Представлены основные зависимости между случайными величинами, методики определения показателей надежности, а также определение надежности по отдельным критериям.

Каждая глава содержит перечень основных уравнений и символов, задачи с решениями и многовариантные задачи. Решение подобных задач помогает усвоить и глубже понять теоретические положения дисциплины.

Предназначены для студентов работ для студентов специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, специализация «Автомобильная техника в транспортных технологиях» очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л . Уч.-изд.л. . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
Введение	5
Общие указания для выполнения самостоятельной работы	6
Практическая работа №1. Характеристики надежности электронных систем автомобиля при внезапных отказах	7
Самостоятельная работа 1	9
Практическая работа №2. Определение единичных и комплексных показателей надежности	10
Самостоятельная работа 2	13
Практическая работа №3. Комплексные показатели надежности	14
Самостоятельная работа 3	16
Практическая работа №4. Причины возникновения проблемы надежности	17
Самостоятельная работа 4	17
Практическая работа №5. Определение закона распределения показателей надежности по результатам испытаний	19
Самостоятельная работа 5	22
Практическая работа №6. Оценка надежности при механическом изнашивании	23
Самостоятельная работа 6	26
Практическая работа №7. Надежность сварных соединений	27
Самостоятельная работа 7	30
Практическая работа №8. Факторы, влияющие на надежность автомобиля	31
Самостоятельная работа 8	31
Практическая работа №9. Расчет надежности деталей машин отдельных групп. Надежность соединений с натягом	33
Самостоятельная работа 9	35
Практическая работа №10. Закономерности увеличения зазора между сопряженными деталями	37
Самостоятельная работа 10	39
Практическая работа №11 Расчет надежности систем по надежности элементов. Последовательное и параллельное со-	

единение элементов	40
Самостоятельная работа 11	41
Практическая работа №12. Расчет надежности систем на стадии проектирования	44
Самостоятельная работа 12	46
Практическая работа №13. Расчет надежности систем	48
Самостоятельная работа 13	48
Практическая работа №14. Уровни надежности	52
Самостоятельная работа 14	52
Библиографический список	55

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемые методические указания составлены в соответствии с рабочей программой по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства, специализация «Автомобильная техника в транспортных технологиях» по дисциплине «Основы теории надежности и диагностики».

Отражены разделы программы теоретической части дисциплины: определение закона распределения показателей надежности по результатам испытаний; оценка надежности при механическом изнашивании, сварных соединений, соединений с натягом; рассмотрены закономерности увеличения зазора между сопряженными деталями; приведен расчет надежности систем по надежности элементов при последовательном и параллельном соединении элементов.

В каждом разделе приведены примеры с подробным объяснением хода решения типовой задачи.

При изучении дисциплины в высших учебных заведениях большое значение имеет приобретение навыков в решении задач, что является одним из критериев прочного усвоения материала.

Общие указания для выполнения самостоятельной работы

В процессе изучения дисциплины «Основы теории надежности и диагностики» каждый студент должен выполнить самостоятельную работу.

При выполнении самостоятельной работы используется литература, рекомендуемая по курсу, методические пояснения к работам, а также конспект лекций.

Самостоятельная работа состоит из многовариантных заданий, которые выбираются согласно своему варианту из таблиц.

Содержание самостоятельной работы пишется на одной стороне стандартных листов бумаги. Все листы, начиная с титульного нумеруются. Титульный лист оформляется по форме, образец которой представлен на кафедре или выдается преподавателем.

Изложение самостоятельной работы должно быть кратким, логичным, четким, призванным дать обоснование принятым решениям. Сокращение слов в тексте не допускается. Значение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулы, должны быть приведены непосредственно под формулой.

Самостоятельная работа, выполненная не по вариантам и не по установленной форме, к защите не принимается.

Практическая работа №1

Характеристики надежности электронных систем автомобиля при внезапных отказах

Цель работы: определить характеристики надежности электронных систем автомобиля при внезапных отказах

Общие сведения

Электронные системы автомобиля и комплектующие делятся на два класса:

- восстанавливаемые;
- невосстанавливаемые.

Показатели безотказности для невосстанавливаемых изделий:

- вероятность безотказной работы;
- вероятность отказа;
- плотность распределения наработки до отказа (частота отказов);
- интенсивность отказов;
- средняя наработка до первого отказа;
- средняя наработка на отказ;
- параметр потока отказов.

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ – это условная плотность вероятности отказа изделия в некоторый момент времени t наработки, с условием того, что отказов до этого момента t не было:

$$\lambda(t) = f(t)/P(t), \quad (1.1)$$

где $f(t)$ - плотность распределения наработки до отказа, $P(t)$ - вероятность безотказной работы.

Статистически определяется как доля изделий, которая отказала в единицу времени после момента времени t , причем эта доля относится к числу изделий, исправных в момент времени t :

$$\lambda(t) = (n(t+\Delta t) - n(t)) / n(t) \cdot \Delta t = \Delta n(t) / n(t) \cdot \Delta t, \quad (1.2)$$

где n – количество отказавших изделий

На рисунке 1.1 представлен график зависимости интенсивности отказов от времени (наработки) или кривая жизни системы.

По графику можно определить 3 периода эксплуатации изделия.

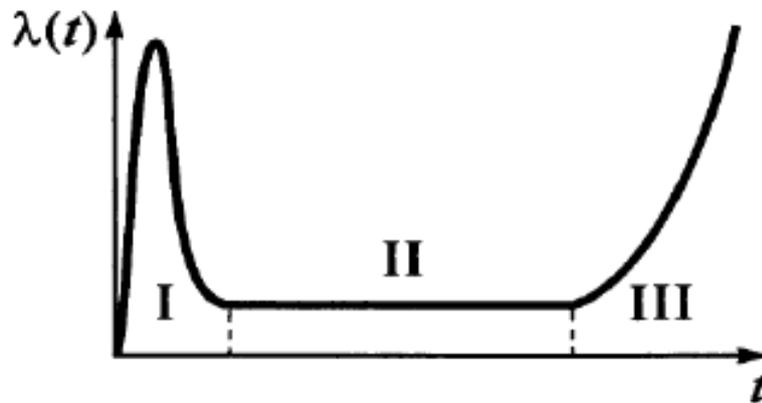


Рисунок 1.1 – Кривая жизни системы

I - период приработки. Во время приработки наблюдается приработочные отказы, обусловленные наличием бракованных изделий со скрытыми дефектами. Этот период продолжается от нескольких часов до сотен часов.

II – период нормальной эксплуатации. Характеризуется минимальным количеством отказов, которые имеют постоянное значение до времени t_3 . В этот период наблюдается, в основном, внезапные отказы, предупредить которые не предоставляется возможным.

III – период износа и старения. Характеризуется наступлением отказов вследствие износа и старения материалов и компонентов. В течении этого периода интенсивность отказов растет. Завершается этот период, и вместе с этим эксплуатация приборов, когда интенсивность отказов приближается к максимально допустимой.

Пример. На испытание поставлено $N_0 = 400$. За время $t = 3000$ ч. отказало 200 изделий, т.е. $n(t) = 400 - 200 = 200$. За интервал времени $(t, t + \Delta t)$, где $\Delta t = 100$ ч, отказало 100 изделий, т.е. $\Delta n(t) = 100$.

Требуется определить $\lambda(3000)$, $f(300)$, $P(300)$.

Решение: $\lambda(t) = \Delta n(t) / n(t) \cdot \Delta t = 100 / 200 \cdot 100 = 5 \cdot 10^{-3}$.

$f(t) = \Delta n(t) / N_0 \cdot \Delta t$.

$P(t) = n(t) / N_0 = 200 / 400 = 0,5$.

Самостоятельная работа 1

Результаты статистических испытаний $1000+10 \cdot x$ (x – номер варианта) образцов неремонтируемой электронной аппаратуры с фиксированием числа отказов через каждые 100 часов работы приведены в следующей таблице.

Таблица 1.1 – Данные для расчета

Δt , ч	$\Delta n(t)$
0-100	50+x
100-200	20+x
200-300	20+x
300-400	19+x
400-500	18+x
500-600	18+x
600-700	18+x
700-800	17+x
800-900	16+x
900-1000	15+x

Определить $\lambda(t)$, $f(t)$, $P(1000)$. Построить график зависимости интенсивности отказов аппаратуры от времени. Указать, на каком этапе жизненного цикла изделия проводились испытания. Построить график зависимости плотности распределения наработки до отказа от времени.

Практическая работа №2

Определение единичных и комплексных показателей надежности

Цель работы: определить единичные и комплексные показатели надежности

Общие сведения

Гамма-процентная наработка между отказами – наработка между отказами, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , выраженной в процентах.

Средняя наработка между отказами – математическое ожидание наработки объекта между отказами.

Показатели безотказности определяются для каждого интервала:

1. Определяем количество отказавших деталей нарастающим итогом на конец каждого периода по формуле

$$n(t_{i+1}) = n(t) + \Delta n(t), \quad (2.1)$$

2. Определяем количество работоспособных изделий $N(t)$ на конец каждого периода по формуле

$$N(t) = N - n(t), \quad (2.2)$$

где $n(t)$ – количество отказавших изделий на конец рассматриваемого периода за период от 0 до t .

3. Определяем статистическую оценку вероятности безотказной работы на конец каждого периода по формуле

$$P(t) = N(t)/N \quad (2.3)$$

4. Средний ресурс определяется по формуле

$$T_p = \frac{\sum_{i=1}^N T_{pi}}{N}, \quad (2.4)$$

где T_{pi} – ресурс i -го изделия, N – количество объектов, поставленных на испытания или эксплуатацию.

Для нахождения гамма-процентного ресурса необходимо найти такое значение суммарной наработки, вероятность которой равна γ , выраженной в процентах, исходя из условия.

$$P(T_{p\gamma}) = \frac{\gamma}{100}, \quad (2.5)$$

Значения среднего срока службы и гамма-процентного срока службы определяются аналогично.

Пример. На испытания поставлено 500 изделий. Результаты определения ресурса представлены в таблице 2.1. По данным испытаний определить гамма-процентный ресурс для $\gamma = 95 \%$, 90% и 80% .

Таблица 2.1 – Результаты испытаний изделий

№№	Интервал времени, час	Количество отказавших изделий n(t)
1	0 – 100	24
2	100 – 200	29
3	200 – 300	35
4	300 – 400	15
5	400 – 500	16
6	500 – 600	20
7	600 – 700	35
8	700 – 800	57
9	800 – 900	133
10	900 – 1000	136

Решение. Для определения гамма-процентного ресурса необходимо найти значение наработки, вероятность которой равна 0,95; 0,90; 0,80, согласно формуле:

$$P(T_{p\gamma}) = \frac{\gamma}{100}.$$

Определим количество работоспособных изделий и вероятность безотказной работы на конец каждого временного интервала, результаты расчета сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчета

№№	Интервал времени, час	Количество отказавших изделий $n(t)$	Количество работоспособных изделий $N(t)$ к концу периода	Вероятность безотказной работы $P(t)$
1	0 – 100	24	476	0,952
2	100 – 200	29	447	0,894
3	200 – 300	35	412	0,824
4	300 – 400	15	397	0,794
5	400 – 500	16	381	0,762
6	500 – 600	20	361	0,722
7	600 – 700	35	326	0,652
8	700 – 800	57	269	0,538
9	800 – 900	133	136	0,272
10	900 – 1000	136	0	0

По представленному расчету вероятностям 0,95; 0,90 и 0,80 соответствуют значения наработки равные 100, 200 и 400 часов соответственно (выделены в таблице 2.2).

Ответ: гамма-процентные ресурсы равны $T_{p95} = 100$ часов; $T_{p90} = 200$ часов; $T_{p80} = 400$ часов.

Самостоятельная работа 2

На испытания поставлено $500+x$ (x - номер варианта) изделий. Результаты определения ресурса представлены в таблице 3. По данным испытаний определить гамма-процентный ресурс для $\gamma = 96\%$, 82% и 59% .

Таблица 2.3 – Результаты испытаний изделий

№№	Интервал времени, час	Количество отказавших изделий $n(t)$
1	0 – 100	28
2	100 – 200	32
3	200 – 300	39
4	300 – 400	18
5	400 – 500	12
6	500 – 600	21
7	600 – 700	36
8	700 – 800	51
9	800 – 900	128
10	900 – 1000	135

Построить графики зависимости вероятности безотказной работы и вероятности отказа от времени, в одной системе координат.

Практическая работа №3

Комплексные показатели надежности

Цель работы: определить комплексные показатели надежности

Возникновение отказов происходит случайно, поэтому их учет производится по законам математической статистики и теории вероятностей.

Количественные оценки надежности (коэффициенты надежности, готовности к работе, наработки на отказ, вероятности безотказной работы) определяются по отказам:

Коэффициенты надежности по отказам:

- износным $K_{и} = T / (T + T_{и}),$ (3.1)

- аварийным $K_{а} = T / (T + T_{а}),$ (3.2)

- техническим, зависящим от конструктивного качества и технического обслуживания:

$$K_{т.г.} = T / (T + T_{и} + T_{а}), \quad (3.3)$$

(этот коэффициент называют также коэффициентом технической готовности, изменяется обычно в пределах 0,65 – 0,85);

- технологическим $K_{т} = T / (T + T_{т}),$ (3.4)

- ошибочным $K_{о} = T / (T + T_{о}),$ (3.5)

где T – чистое (машинное время) в период наблюдения, ч; $T_{и}$, $T_{а}$, $T_{т}$, $T_{о}$ - продолжительность устранения отказов (износного, аварийного, технологического и ошибочного) за соответствующий период наблюдений.

Коэффициент эксплуатационной надежности **или коэффициент готовности** равняется:

$$K_{г.} = T / (T + T_{и} + T_{а} + T_{т} + T_{о}) = T / T_{э}, \quad (3.6)$$

Приведенные формулы представляют также вероятность того, что в любой момент машина не будет простаивать по той или иной причине.

Коэффициент простоя по различным причинам будет:

$$K_{пр.} = T_{и} / T_{э} + T_{а} / T_{э} + T_{т} / T_{э} + T_{о} / T_{э}, \quad (3.7)$$

Коэффициент резервов будет равен:

$$K_{р} = T_{и} / T + T_{а} / T + T_{т} / T + T_{о} / T + 1, \quad (3.8)$$

Зная возможные простои по технологическим и ошибочным причинам, при конструировании машин предусматриваются резервы эксплуатационных характеристик, позволяющих форсировать

работу в предельно допустимых случаях: принимаются запасы мощности, производительности, скорости и др.

Учет отказов и продолжительности профилактических ремонтов ($T_{пр}$) позволяет находить следующие два коэффициента, необходимые для оценки надежности машины:

- **коэффициент технического использования:**

$$K_{т.и.} = T / (T + T_{и} + T_{а} + T_{пр}), \quad (3.9)$$

- **коэффициент вынужденного простоя на ремонте**, характеризующий ремонтпригодность машина:

$$K_{в. пр.} = (T_{и} + T_{а}) / (T + T_{и} + T_{а}). \quad (3.10)$$

Пример. За наблюдаемы период автомобиль отказал 3 раза. Первая наработка до отказа составила «300», вторая – «350» и третья «650» часов. Первый внеплановый ремонт потребовал «7», второй – «9» и третий – «16» часов. Суммарное время простоев на 10% больше времени ремонта. Определить коэффициент готовности $K_{г}$, коэффициент технического использования $K_{т.и.}$, коэффициент ремонта $K_{р}$.

Решение:

1. Средняя наработка на отказ .

$$t = (300+350+650)/3 = 433,3 \text{ час.}$$

2. Среднее время восстановления.

$$t_{в} = (7+9+16)/3 = 10,67 \text{ час.}$$

3. Коэффициент готовности.

$$K_{г} = t / (t + t_{в}) = 433,3 / (433,3 + 10,67) = 0,976.$$

4. Суммарная наработка на отказ .

$$T = 300 + 350 + 650 = 1300 \text{ час.}$$

5. Суммарная продолжительность простоев на техническое обслуживание и ремонты .

$$T_{р} = (7+9+16) * 1,1 = 35,2 \text{ часа.}$$

6. Коэффициент технического использования.

$$K_{т.и.} = T / (T + T_{р}) = 1300 / (1300 + 35,2) = 0,974.$$

7. Коэффициент ремонта .

$$K_{р} = T_{р} / T = 35,2 / 1300 = 0,027.$$

Самостоятельная работа 3

За наблюдаемый период автомобиль отказал 3 раза. Первая наработка до отказа составила «400+x», вторая – «600+x» и третья «800+x» часов. Первый внеплановый ремонт потребовал «2+x», второй – «5+x» и третий – «10+x» часов. Суммарное время простоев на 10% больше времени ремонта. Определить коэффициент готовности K_g , коэффициент технического использования $K_{т.и.}$, коэффициент ремонта K_r .

Практическая работа №4

Причины возникновения проблемы надежности

Самостоятельная работа 4

Таблица 4.1 - Данные для выполнения итоговой работы

№ в/в	
1	<ul style="list-style-type: none"> • Причины возникновения проблемы надежности • Отказ
2	<ul style="list-style-type: none"> • Зависимость стоимости затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию изделий от их надежности • Случайное событие
3	<ul style="list-style-type: none"> • Стандартизация как средство управления надежностью машиностроительной продукции (основные направления) • Случайная величина
4	<ul style="list-style-type: none"> • Уровни надежности (перечислить) • Интегральная функция распределения
5	<ul style="list-style-type: none"> • Ремонтпригодность • Геометрический смысл функции распределения наработки до отказа $F(t)$ и вероятности безотказной работы $P(t)$
6	<ul style="list-style-type: none"> • Безотказность • Дискретные (прерывные) случайные величины
7	<ul style="list-style-type: none"> • Надежность • Непрерывные случайные величины
8	<ul style="list-style-type: none"> • Экономическая характеристика надежности • Дифференциальная функция распределения
9	<ul style="list-style-type: none"> • Работоспособность • Среднее квадратичное отклонение (СКО) σ_t характеризует
10	<ul style="list-style-type: none"> • Технический ресурс • Уровни надежности
11	<ul style="list-style-type: none"> • Долговечность – • Нарботка до отказа
12	<ul style="list-style-type: none"> • Сохраняемость • Универсальная характеристика случайных величин
13	<ul style="list-style-type: none"> • Исправное состояние • Интенсивность отказов $\lambda(t)$ определяется
14	<ul style="list-style-type: none"> • Предельное состояние • Коэффициенты надежности по отказам

15	<ul style="list-style-type: none"> • Восстанавливаемые ТС • Коэффициент эксплуатационной надежности
16	<ul style="list-style-type: none"> • Невосстанавливаемые ТС • Математическое ожидание m_t характеризует
17	<ul style="list-style-type: none"> • Критерий экономической эффективности • Коэффициент простоя
18	<ul style="list-style-type: none"> • Проектный уровень надежности определяется • Основные свойства плотности распределения
19	<ul style="list-style-type: none"> • По способу определения показатели надежности классифицируют на • Коэффициент резервов
20	<ul style="list-style-type: none"> • По области распространения показатели надежности классифицируют на • коэффициент технического использования
21	<ul style="list-style-type: none"> • По области использования показатели надежности классифицируют на • коэффициент вынужденного простоя на ремонте
22	<ul style="list-style-type: none"> • По виду характеризуемого свойства надежности показатели надежности классифицируют на • средняя частота отказов
23	<ul style="list-style-type: none"> • По области числу характеризуемых свойств показатели надежности классифицируют на • Плотность распределения
24	<ul style="list-style-type: none"> • Послеремонтный уровень надежности определяется • Вероятность отказа
25	<ul style="list-style-type: none"> • Стадии жизненного цикла планирование, соответствует уровень надежности • Средняя наработка между отказами
26	<ul style="list-style-type: none"> • При введении слишком «мягкого» критерия надежности • Зависимость интенсивности отказов от времени
27	<ul style="list-style-type: none"> • При введении слишком «жесткого» критерия надежности • Если уровень надежности при полном отсутствии отказов принять за единицу, то в общем виде показатель уровня надежности будет равен
28	<ul style="list-style-type: none"> • Послеремонтный уровень надежности определяется • Вероятность безотказной работы

Практическая работа №5

Определение закона распределения показателей надежности по результатам испытаний

Цель работы: определить закон распределения показателей надежности по результатам испытаний

Общие сведения

Во многих случаях испытания на надежность необходимо проводить до разрушения. Поэтому испытывают не все изделия, а небольшую их часть, называемую выборкой.

Доверительной вероятностью (достоверностью) называют вероятность того, что истинное значение оцениваемого параметра или числовой характеристики лежит в заданном интервале, называемом доверительным. Доверительный интервал для вероятности P ограничен нижней P_n и верхней P_v доверительными границами.

На практике основной интерес представляет односторонняя вероятность, что числовая характеристика не меньше нижней или не выше верхней границы. Первое условие относится к вероятности безотказной работы и средней наработке на отказ, второе – к среднему времени восстановления. Например, для вероятности безотказной работы условие имеет вид (5.1):

$$\text{Вер}(P_n \leq P) = \alpha. \quad (5.1)$$

Наиболее распространен случай, когда объем выборки меньше десятой части генеральной совокупности. В этом случае для оценки нижней и верхней границ вероятности безотказной работы используют биномиальное распределение. При испытаниях n изделий доверительную вероятность выхода на каждую из границ принимают равной вероятности в одном случае не более m отказов, в другом случае не менее m отказов:

$$\sum_{i=0}^m \frac{n!}{i!(n-i)!} \cdot (1-P_n)^i P_n^{n-i} = 1 - \alpha; \quad (5.2)$$

$$\sum_{i=m}^n \frac{n!}{i!(n-i)!} \cdot (1-P_v)^i P_v^{n-i} = 1 - \alpha. \quad (5.3)$$

В случае безотказных испытаний из формулы при $m = 0$ следует, что P_n связано с доверительной вероятностью и числом испытанных изделий выражением :

$$P_H = \sqrt[n]{1 - \alpha}. \quad (5.4)$$

При больших значениях n и m формулами (5.2) и (5.33) неудобно пользоваться. В этом случае прибегают к приближенным вычислениям. Вычисления нижней и верхней границ можно представить в виде уравнений (5.5) и (5.6):

$$P_H = P^* + U_\alpha \sqrt{\frac{P^*(1-P^*)}{n}}, \quad (5.5)$$

$$P_B = P^* - U_\alpha \sqrt{\frac{P^*(1-P^*)}{n}}. \quad (5.6)$$

где U_α – квантиль нормального распределения, соответствующая выбранной доверительной вероятности α ;

$P^* = (n - m) / n$ – частота сохранения работоспособности.

Приближение нормальным распределением используют, если выполняются два условия: $n \cdot P^* > 10$ и $n \cdot (1 - P^*) > 10$.

Требуемый объем выборки n определяется, если требуемая вероятность безотказной работы равна P^* , заданы доверительный интервал $d = P_B - P_H$ и односторонняя доверительная вероятность α . Предполагаем применимость нормального распределения, тогда объем выборки вычисляется по уравнению (5.7):

$$n = \frac{4 \cdot U_\alpha^2 P^* (1 - P^*)}{d^2}. \quad (5.7)$$

Пример. Определить требуемый объем выборки n , если требуемая вероятность безотказной работы равна $P^* = 0,8$, доверительный интервал ограничен нижней $P_H = 0,73$ и верхней $P_B = 0,87$ доверительными границами и односторонняя доверительная вероятность $\alpha = 0,95$.

Решение. Для определения требуемого объема выборки воспользуемся уравнением (7), предварительно рассчитаем доверительный интервал:

$$d = P_B - P_H = 0,87 - 0,73 = 0,14.$$

Далее используя таблицу 1, определяем по заданной доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ квантиль $U_\alpha = -1,64$. Получаем:

$$n = \frac{4 \cdot U_\alpha^2 P^* (1 - P^*)}{d^2} = \frac{4 \cdot (-1,64)^2 \cdot 0,8(1 - 0,8)}{0,14^2} = 87,8 \approx 88.$$

В таблице 5.1 приведены непосредственно значения вероятностей безотказной работы $P(t)$ в зависимости от $\chi = U_\alpha$ в употребительном диапазоне.

Таблица 5.1 - Нормальное распределение

Квантиль, U_α	Вероятность безотказной работы, $P(t)$	Квантиль, U_α	Вероятность безотказной работы, $P(t)$
0,000	0,5000	-1,751	0,96
-0,1	0,5398	-1,8	0,9641
-0,126	0,55	-1,881	0,97
-0,2	0,5793	-2,0	0,9772
-0,253	0,60	-2,054	0,98
-0,3	0,6179	-2,1	0,9821
-0,385	0,65	-2,170	0,985
-0,4	0,6554	-2,2	0,9861
-0,5	0,6915	-2,3	0,9893
-0,524	0,70	-2,326	0,99
-0,6	0,7257	-2,4	0,9918
-0,674	0,75	-2,409	0,992
-0,7	0,7580	-2,5	0,9938
-0,8	0,7881	-2,576	0,995
-0,842	0,80	-2,6	0,9953
-0,9	0,8159	-2,652	0,996
-1,0	0,8413	-2,7	0,9965
-1,036	0,85	-2,748	0,997
-1,1	0,8643	-2,8	0,9974
-1,2	0,8849	-2,878	0,998
-1,282	0,90	-2,9	0,9981
-1,3	0,9032	-3,0	0,9986
-1,4	0,9192	-3,090	0,999
-1,5	0,9332	-3,291	0,9995
-1,6	0,9452	-3,5	0,9998
-1,645	0,95	-3,719	0,9999
-1,7	0,9554		

Самостоятельная работа 5

Определить требуемый объем выборки n , если требуемая вероятность безотказной работы равна P^* , доверительный интервал ограничен нижней P_H и верхней P_B доверительными границами и односторонняя доверительная вероятность α .

Таблица 5.2- Данные для расчета

№ в/в	Вероятность безотказной работы P^* , %	Доверительный интервал, %		Односторонняя доверительная вероятность α , %	№ в/в	Вероятность безотказной работы P^* , %	Доверительный интервал, %		Односторонняя доверительная вероятность α , %
		P_B	P_H				P_B	P_H	
1	79	83	64	80,00	26	88	90	77	96,00
2	76	80	60	81,59	27	89	92	68	96,41
3	80	82	73	84,13	28	86	96	69	97,00
4	77	80	60	85,00	29	84	95	67	97,72
5	80	85	64	86,43	30	82	93	66	98,00
6	73	84	55	88,49	31	83	96	65	98,21
7	82	89	70	90,00	32	81	94	64	98,5
8	85	88	63	90,32	33	87	95	63	98,61
9	71	87	55	91,92	34	89	97	62	98,93
10	72	89	60	93,32	35	79	96	61	99,00
11	73	92	58	94,52	36	76	89	59	99,18
12	74	89	58	95,00	37	85	87	58	99,2
13	85	94	64	95,54	38	84	90	57	99,38
14	70	83	49	84,13	39	86	94	56	99,5
15	81	90	55	96,00	40	87	96	55	99,53
16	83	92	60	96,41	41	89	97	54	99,6
17	84	90	56	97,00	42	82	96	53	99,65
18	85	95	73	97,72	43	83	92	52	99,7
19	89	97	80	98,00	44	84	93	54	99,74
20	87	97	73	98,21	45	87	94	57	99,8
21	86	92	55	98,5	46	79	97	65	99,81
22	88	96	63	98,61	47	78	98	68	99,86
23	85	94	69	98,93	48	76	94	62	99,9
24	86	96	64	97,72	49	77	97	54	99,38
25	87	83	50	99,74	50	78	96	65	96,00

Практическая работа №6

Оценка надежности при механическом изнашивании

Цель работы: провести оценку надежности при механическом изнашивании

Общие сведения

Износостойкость трущейся пары обычно характеризует интенсивность изнашивания, равной толщине изношенного слоя на единицу пути трения. По интенсивности изнашивания, скорости относительного перемещения трущихся поверхностей и времени работы можно оценить линейный износ детали, уравнение (6.1):

$$W = I v t, \quad (6.1)$$

где W – линейный износ детали;

I – интенсивность изнашивания;

v – скорость относительного перемещения трущихся поверхностей;

t – время работы.

Интенсивность изнашивания есть функция материалов, смазки, давления и скорости.

Оценку надежности следует вести по изменению линейного размера одной детали, которое может характеризовать точность или прочность и по изменению сочетания линейных размеров сопряженных деталей – зазоров в подшипниках, шагов зубчатых и цепных передач, которое может характеризовать динамические нагрузки, несущую способность, шум и выходную точность.

Известно предельно допустимое значение размера $h_{\text{пред}}$, при износе до которого детали снимают с эксплуатации. Задано среднее значение $\bar{h}_{\text{нач}}$ и среднее квадратичное отклонение σ_h начального размера. В этом случае, если известны среднее значение интенсивности изнашивания \bar{I} и ее коэффициент вариации v_I , можно оценить квантиль нормального распределения U_p уравнение (6.2), а по ней вероятность безотказной работы детали P :

$$I_p = - \frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_{\Delta}^2 + v_I^2}}, \quad (6.2)$$

где $v_{\Delta} = \sigma_h / \bar{\Delta}$ – коэффициент вариации размера детали;

$\bar{n} = \bar{\Delta} / \bar{I} v t$ – условный коэффициент запаса по износу.

В случае расчета по предельно допустимому уменьшению размера $\bar{\Delta} = \bar{h}_{\text{нач}} - h_{\text{пред}}$, а в случае увеличения (например, зазора) $\bar{\Delta} = h_{\text{пред}} - \bar{h}_{\text{нач}}$.

Коэффициент вариации v_I определяется по формуле (6.3)

$$v_I = \sqrt{(mv_p)^2 + (nv_f)^2 + (lv_H)^2}, \quad (6.3)$$

где m, n, l – коэффициенты, зависящие от влияния смазки, термообработки деталей и степени близости давления при контакте к предельному значению;

v_p, v_f, v_H – коэффициенты вариации давления, трения и твердости.

Если рассматривается изнашивание подшипника скольжения (без существенного искажения формы), то $h_{\text{пред}}$ – предельно допустимый зазор, $\bar{h}_{\text{нач}}$ – среднее значения начального зазора, а $\sigma_h = \sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_{BT}^2}$ – среднее квадратическое отклонения диаметра вала и втулки, принимаемые равными шестой части соответствующих допусков.

Пример. Оценить вероятность безотказной работы P по критерию износа подшипника скольжения из графитопласта АМС – 3 твердостью НВ 30...40, работающего при сухом трении, коэффициенты вариации давления, трения и твердости соответственно $v_p = 0,035$; $v_f = 0,11$; $v_H = 0,045$. Ресурс $t = 800$ ч. Сопряжение подшипника с валом выполнено по посадке 30 Н8/d8. Скорость относительного перемещения трущихся поверхностей $v = 0,2$ м/с. Средняя интенсивность изнашивания в этих условиях $\bar{I} = 10^{-10}$. Предельно допустимый зазор $h_{\text{пред}} = 0,15$ мм. Предполагается, что m, n, l равны единице.

Решение: Оценка допусков для подшипника и вала, соответствующих посадке 30 Н8/d8, соответствует $\bar{h}_{\text{нач}} = 0,073$ мм, $\sigma_B = 0,0055$ мм, $\sigma_{BT} = 0,0055$ мм.

Находим коэффициент вариации размера детали $v_{\Delta} = \sigma_h / \bar{\Delta}$

$$\bar{\Delta} = h_{\text{пред}} - \bar{h}_{\text{нач}} = 0,15 - 0,073 = 0,077 \text{ мм};$$

$$\sigma_h = \sqrt{\sigma_B^2 + \sigma_{BT}^2} = \sqrt{0,0055^2 + 0,0055^2} = 0,0078 \text{ мм};$$

$$v_{\Delta} = \sigma_h / \bar{\Delta} = 0,0078 / 0,077 = 0,1;$$

$$\bar{n} = \bar{\Delta} / \bar{I} v t = 0,077 / 10^{-10} \cdot 0,2 \cdot 10^3 \cdot 800 \cdot 3600 = 1,34 \text{ мм}.$$

Коэффициент вариации v_I определяется по формуле

$$v_I = \sqrt{(mv_p)^2 + (mv_f)^2 + (lv_H)^2} = \sqrt{0,045^2 + 0,11^2 + 0,045^2} = 0,127.$$

Вероятность безотказной работы детали P :

$$I_p = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_{\Delta}^2 + v_I^2}} = \frac{1,34 - 1}{\sqrt{1,34^2 \cdot 0,1^2 + 0,127^2}} = -1,84.$$

Используя таблицу 1 квантилей нормального распределения, находим вероятность безотказной работы. При $U_p = -1,84$; $P(t) = 0,964$.

Самостоятельная работа 6

Оценить вероятность безотказной работы $P(t)$ по критерию износа подшипника скольжения, работающего при сухом трении, если известны: коэффициент вариации v_I , условный коэффициент запаса по износу \bar{n} , предельно допустимый зазор $h_{\text{пред}}$. Оценка допусков для подшипников и вала соответствует $\bar{h}_{\text{нач}}$, σ_B , σ_{BT} .

Таблица 6.1 - Данные для расчета

№ в/в	v_I	\bar{n}	$h_{\text{пред}}$	$\bar{h}_{\text{нач}}$	σ_B	σ_{BT}	№ в/в	v_I	\bar{n}	$h_{\text{пред}}$	$\bar{h}_{\text{нач}}$	σ_B	σ_{BT}
1	0,10	1,22	0,1	0,04	0,005	0,006	26	0,19	2,02	0,1	0,05	0,004	0,005
2	0,22	1,33	0,17	0,05	0,006	0,005	27	0,28	2,23	0,27	0,06	0,005	0,006
3	0,31	1,41	0,28	0,06	0,005	0,008	28	0,37	2,11	0,18	0,04	0,006	0,008
4	0,40	1,54	0,19	0,07	0,004	0,009	29	0,24	2,44	0,29	0,07	0,007	0,009
5	0,53	1,65	0,26	0,08	0,007	0,005	30	0,15	2,55	0,16	0,08	0,008	0,007
6	0,65	1,76	0,15	0,09	0,008	0,003	31	0,46	2,66	0,25	0,09	0,009	0,004
7	0,10	1,83	0,24	0,06	0,009	0,008	32	0,53	2,35	0,24	0,06	0,005	0,005
8	0,24	1,92	0,15	0,05	0,006	0,002	33	0,32	2,08	0,25	0,05	0,004	0,006
9	0,50	2,21	0,26	0,04	0,005	0,004	34	0,24	2,19	0,16	0,09	0,004	0,003
10	0,62	2,30	0,19	0,04	0,004	0,007	35	0,15	1,27	0,19	0,08	0,005	0,002
11	0,30	2,51	0,18	0,05	0,007	0,008	36	0,26	1,44	0,18	0,07	0,006	0,001
12	0,31	2,42	0,17	0,06	0,008	0,009	37	0,09	1,75	0,27	0,08	0,004	0,004
13	0,16	2,65	0,24	0,09	0,009	0,006	38	0,18	1,86	0,14	0,09	0,007	0,007
14	0,25	2,84	0,25	0,08	0,006	0,005	39	0,27	1,92	0,15	0,06	0,008	0,008
15	0,44	1,76	0,26	0,07	0,003	0,004	40	0,31	1,63	0,26	0,05	0,009	0,009
16	0,51	1,23	0,13	0,04	0,002	0,005	41	0,02	1,57	0,13	0,04	0,006	0,006
17	0,62	1,32	0,22	0,05	0,005	0,006	42	0,13	2,48	0,12	0,07	0,009	0,005
18	0,33	1,41	0,15	0,06	0,006	0,004	43	0,46	1,19	0,26	0,08	0,009	0,004
19	0,28	1,50	0,16	0,03	0,004	0,007	44	0,55	2,21	0,25	0,06	0,007	0,002
20	0,19	1,63	0,29	0,02	0,007	0,008	45	0,64	1,32	0,19	0,03	0,007	0,003
21	0,41	1,81	0,18	0,01	0,008	0,009	46	0,38	2,03	0,18	0,06	0,008	0,006
22	0,52	2,72	0,27	0,04	0,009	0,006	47	0,21	1,14	0,17	0,05	0,008	0,006
23	0,63	2,92	0,17	0,05	0,006	0,005	48	0,26	2,45	0,18	0,04	0,005	0,008
24	0,34	2,50	0,28	0,06	0,003	0,008	49	0,12	2,85	0,19	0,07	0,006	0,008
25	0,26	2,82	0,19	0,09	0,002	0,007	50	0,45	1,54	0,26	0,08	0,003	0,007

Практическая работа №7

Надежность сварных соединений

Цель работы: определить закон распределения показателей надежности по результатам испытаний

Общие сведения

В ряде машин, в частности транспортных, надежность конструкции в значительной степени определяется сопротивлением усталости сварных соединений.

Предел выносливости сварных соединений имеет значительное рассеяние. Значения диапазонов рассеяния позволили оценить коэффициенты вариации предела выносливости вследствие разброса качества сварного шва $v_{св}$ (таблица 7.1):

Таблица 7.1 – Коэффициент вариации предела выносливости

Вид соединения	$v_{св}$
Стыковое, сварка ручная	0,05
То же, сварка полуавтоматическая или автоматическая	0,03
Внахлестку	0,06

Вероятностный расчет сопротивления усталости сварного соединения представляется в следующем виде. Квантиль нормированного нормального распределения, по которой определяется вероятность безотказной работы, равна

$$I_p = - \frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_{-1\delta}^2 + v_a^2}}; \quad (7.1)$$

где \bar{n} - коэффициент запаса прочности по средним напряжениям;

v_a - коэффициент вариации нагрузки;

$v_{-1\delta}$ - коэффициент вариации предела выносливости сварной детали.

Значение $v_{-1\delta}$ следует вычислять по формуле

$$v_{-1\delta} = \sqrt{v_{\delta}^2 + v_{св}^2 + v_{пл}^2 + v_{пов}^2}; \quad (7.2)$$

где v_{δ} - коэффициент вариации предела выносливости детали одной плавки без сварного шва;

$v_{пл}$ - коэффициент вариации среднего предела выносливости по плавкам;

$v_{\text{пов}}$ - коэффициент вариации предела выносливости в зависимости от состояния поверхностей свариваемых деталей.

Значение \bar{n} равно отношению средних значений предела выносливости $\bar{\sigma}_{-1\delta}$ и действующих напряжений $\bar{\sigma}_a$. Величину $\bar{\sigma}_{-1\delta}$ вычисляют по формуле.

$$\bar{\sigma}_{-1\delta} = \frac{\bar{\sigma}_{-1} \cdot \varepsilon_{\sigma} \cdot \beta \cdot \gamma}{k_{\sigma}}, \quad (7.3)$$

где $\bar{\sigma}_{-1}$ - среднее значение предела выносливости гладкого образца;

ε_{σ} - коэффициент влияния абсолютных размеров;

β - коэффициент, учитывающий упрочнение, $\beta \geq 1$;

γ - коэффициент, учитывающий состояние поверхности, $\gamma \leq 1$;

k_{σ} - эффективный коэффициент концентрации напряжений.

Пример. Определить вероятность безотказной работы сварного соединения, выполненного полуавтоматическим способом, если известно, что: коэффициенты вариации $v_a = 0,15$; $v_{\delta} = 0,1$; $v_{\text{пл}} = 0,07$; $v_{\text{пов}} = 0,08$. Среднее действующее напряжение $\bar{\sigma}_a = 0,7$ и среднее значение предела выносливости гладкого образца $\bar{\sigma}_{-1} = 0,8$. А также известно, что коэффициент влияния абсолютных размеров $\varepsilon_{\sigma} = 0,7$; коэффициент, учитывающий упрочнение $\beta = 1,7$; коэффициент, учитывающий состояние поверхности, $\gamma = 1$; эффективный коэффициент концентрации напряжений $k_{\sigma} = 0,9$.

Решение: Находим значение коэффициент вариации предела выносливости сварной детали

$$v_{-1\delta} = \sqrt{v_{\delta}^2 + v_{\text{св}}^2 + v_{\text{пл}}^2 + v_{\text{пов}}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0,03^2 + 0,07^2 + 0,08^2} = 0,15$$

$$\bar{\sigma}_{-1\delta} = \frac{\bar{\sigma}_{-1} \cdot \varepsilon_{\sigma} \cdot \beta \cdot \gamma}{k_{\sigma}} = \frac{0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,7 \cdot 1}{0,9} = 1,05.$$

$$\bar{n} = \frac{\bar{\sigma}_{-1\delta}}{\bar{\sigma}_a} = \frac{1,05}{0,7} = 1,5.$$

Квантиль нормированного нормального распределения.

$$I_p = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_{-1\delta}^2 + v_a^2}} = -\frac{1,5 - 1}{\sqrt{1,5^2 \cdot 0,15^2 + 0,15^2}} = -0,333.$$

Вероятность безотказной работы P , определенная по таблице 1 в зависимости от $I_p = -0,333$; $P(t) = 0,62$.

Самостоятельная работа 7

Определить вероятность безотказной работы сварного соединения, выполненного полуавтоматическим способом, если известно, что: коэффициенты вариации v_a , v_δ , $v_{пл}$, $v_{пов}$. Среднее действующее напряжение $\bar{\sigma}_a$ и среднее значение предела выносливости гладкого образца $\bar{\sigma}_{-1}$. А также известно, что коэффициент влияния абсолютных размеров $\varepsilon_\sigma = 0,6$; коэффициент, учитывающий упрочнение $\beta = 1,6$; коэффициент, учитывающий состояние поверхности, $\gamma = 1$; эффективный коэффициент концентрации напряжений $k_\sigma = 0,9$.

Таблица 7.2 - Данные для расчета

№ в/в	v_a	v_δ	$v_{пл}$	$v_{пов}$	$\bar{\sigma}_a$	$\bar{\sigma}_{-1}$	№ в/в	v_a	v_δ	$v_{пл}$	$v_{пов}$	$\bar{\sigma}_a$	$\bar{\sigma}_{-1}$
1	0,10	0,10	0,08	0,04	0,5	0,6	26	0,19	0,10	0,10	0,05	0,4	0,5
2	0,12	0,09	0,07	0,05	0,6	0,5	27	0,18	0,10	0,07	0,06	0,5	0,6
3	0,11	0,08	0,08	0,06	0,5	0,8	28	0,17	0,10	0,08	0,04	0,6	0,8
4	0,14	0,09	0,09	0,07	0,4	0,9	29	0,14	0,11	0,09	0,07	0,7	0,9
5	0,13	0,08	0,06	0,08	0,7	0,5	30	0,15	0,12	0,06	0,08	0,8	0,7
6	0,15	0,09	0,05	0,09	0,8	0,3	31	0,16	0,09	0,05	0,09	0,9	0,4
7	0,10	0,11	0,04	0,06	0,9	0,8	32	0,13	0,08	0,04	0,06	0,5	0,5
8	0,24	0,11	0,05	0,05	0,6	0,2	33	0,12	0,09	0,05	0,05	0,4	0,6
9	0,20	0,10	0,06	0,04	0,5	0,4	34	0,24	0,8	0,06	0,09	0,4	0,3
10	0,62	0,11	0,09	0,04	0,4	0,7	35	0,15	0,09	0,09	0,08	0,5	0,2
11	0,10	0,12	0,08	0,05	0,7	0,8	36	0,16	0,10	0,08	0,07	0,6	0,7
12	0,11	0,11	0,07	0,06	0,8	0,9	37	0,09	0,09	0,07	0,08	0,4	0,4
13	0,16	0,10	0,04	0,09	0,9	0,6	38	0,18	0,08	0,04	0,09	0,7	0,7
14	0,25	0,10	0,05	0,08	0,6	0,5	39	0,27	0,07	0,05	0,06	0,8	0,8
15	0,14	0,11	0,06	0,07	0,3	0,4	40	0,11	0,06	0,06	0,05	0,9	0,9
16	0,11	0,12	0,03	0,04	0,6	0,5	41	0,12	0,07	0,03	0,04	0,6	0,6
17	0,12	0,11	0,02	0,05	0,5	0,6	42	0,13	0,08	0,02	0,07	0,9	0,5
18	0,13	0,12	0,05	0,06	0,6	0,4	43	0,16	0,07	0,06	0,08	0,9	0,4
19	0,18	0,11	0,06	0,03	0,4	0,7	44	0,15	0,06	0,05	0,06	0,7	0,8
20	0,19	0,09	0,09	0,02	0,7	0,8	45	0,14	0,09	0,09	0,03	0,7	0,5
21	0,11	0,08	0,08	0,01	0,8	0,9	46	0,18	0,08	0,08	0,06	0,8	0,6
22	0,12	0,07	0,07	0,04	0,9	0,6	47	0,21	0,09	0,07	0,05	0,8	0,6
23	0,13	0,08	0,07	0,05	0,6	0,5	48	0,16	0,09	0,08	0,04	0,5	0,8
24	0,14	0,09	0,08	0,06	0,8	0,8	49	0,12	0,08	0,09	0,07	0,6	0,8
25	0,16	0,08	0,09	0,09	0,7	0,7	50	0,15	0,08	0,06	0,08	0,3	0,7

Практическая работа №8

Факторы, влияющие на надежность автомобиля

Самостоятельная работа 8

Таблица 8.1 - Данные для выполнения итоговой работы

№ в/в	
1	• Факторы, влияющие на надежность автомобиля
2	• конструктивно-технологические факторы, влияющие на надежность
3	• качество применяемых эксплуатационных материалов, как фактор, влияющий на надежность
4	• условия эксплуатации, как фактор, влияющий на надежность
5	• уровень технической эксплуатации, как фактор, влияющий на надежность
6	• Принципы рациональной организации технического контроля
7	• Физико-химические свойства масла, влияющие на износ.
8	• Смазки должны удовлетворять следующим эксплуатационным требованиям
9	• Физико-химические свойства топлива, влияющие на износ.
10	• Какие показатели воды применяют для оценки качества.
11	• Дорожные условия работы автомобиля характеризуются
12	• Для уменьшения влияния дорожных условий на износ автомобиля необходимо
13	• Климатические условия как фактор, влияющий на надежность
14	• Транспортные условия и режим использования автомобиля как фактор, влияющий на надежность
15	• Качество вождения как фактор, влияющий на надежность
16	• Техническое обслуживание автомобиля как фактор, влияющий на надежность
17	• Схема ТО и Р в условиях автоцентра
18	• Ремонт автомобиля как фактор, влияющий на надежность
19	• Хранение автомобиля как фактор, влияющий на надежность
20	• Зависимость тормозного пути от коэффициента сцепления шин с дорогой
21	• Главные следствия негативных погодных условий
22	• совершенство конструкции автомобиля и его элементов, как фактор, влияющий на надежность
23	• качество материалов, из которых изготовлены детали, узлы и агрегаты как фактор, влияющий на надежность

24	• технология изготовления деталей, узлов и агрегатов, качество сборки и регулировки, как фактор, влияющий на надежность
25	• качество каких эксплуатационных материалов влияет на надежность
26	• Для повышения надежности деталей автомобилей при их производстве широко практикуется
27	• Фракционный состав топлива. Какие существуют фракции топлив
28	• Низкотемпературные свойства топлив.

Практическая работа №9

Расчет надежности деталей машин отдельных групп. Надежность соединений с натягом

Цель работы: рассчитать надежность деталей машин отдельных групп и надежность соединений с натягом

Актуальность исследований и расчета надежности этих соединений вызывается большим рассеянием: натягов, образуемых как разность двух больших размеров – диаметров вала и отверстия; коэффициентов трения, зависящих от многих факторов – состояния поверхности, оксидных пленок, случайного попадания масла, а также внешних нагрузок.

Предельный по прочности сцепления момент T_{lim} , Н·м, т.е. момент, который может передать соединение диаметром d , мм, длиной l , мм, с натягом N , мкм, при давлении p , МПа, и коэффициенте трения f , равен

$$T_{lim} = 0,5 \cdot 10^{-3} \pi d^2 l p f / K, \quad (9.1)$$

где $K = 1,5$ – коэффициент, учитывающий возможность уменьшения сил сцепления со временем.

Для трения сплошного вала со ступицей с наружным диаметром D , мм, из материалов с одинаковым модулем упругости E , МПа, и одинаковым коэффициентом поперечного сжатия

$$p = \frac{(N - u)E \cdot 10^{-3}}{d(1 + \psi)}, \quad (9.2)$$

где $\psi = \frac{1 + (d/D)^2}{1 - (d/D)^2}$; u – поправка на обмятие посадочных поверх-

ностей, зависящая от высоты их микронеровностей R_{z1} , R_{z2} и принимаемая обычно равной $u = 1,2(R_{z1} + R_{z2})$.

Коэффициент вариации предельного момента

$$v_{lim} = \sqrt{v_p^2 + v_f^2}, \quad (9.3)$$

где v_p и v_f – коэффициенты вариации давления и трения.

Коэффициент вариации давления

$$v_p = \frac{\sigma_N}{N - u} = v_N \frac{1}{1 - u/N}, \quad (9.4)$$

где v_N , σ_N – коэффициент вариации и среднее квадратичное отклонение натяга.

Среднее значение натяга \bar{N} при изготовлении вала и отверстия по одинаковым квалитетам точности ($t_e = t_E = t$) равно

$$\bar{N} = ei; \quad v_N = \frac{\sqrt{2} \cdot t}{6ei} = 0,236t/ei, \quad (9.5)$$

где $t = t_e = t_E$ – табличное значение допусков диаметра вала и отверстия; ei – нижнее отклонение диаметра вала.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ соединения по критерию прочности сцепления определяем по таблицам нормального распределения в зависимости от квантили I_p , равной

$$I_p = -\frac{\bar{n}_c - 1}{\sqrt{\bar{n}_c^2 v_{lim}^2 + v_T^2}}, \quad (9.6)$$

где $\bar{n}_c = \bar{T}_{lim} / \bar{T}$ – коэффициент запаса прочности сцепления по средним значениям момента

Пример. Соединение зубчатого колеса со сплошным валом диаметром $d = 48$ мм соответствует посадке H8/x8. Соединение нагружено вращающим моментом T , заданным случайной нормально распределенной величиной со средним значением $\bar{T} = 1050$ Н·м и коэффициентом вариации $v_T = 0,12$. Определить вероятность безотказной работы соединения по критерию прочности сцепления, если известно, что диаметр ступицы зубчатого колеса $D = 85$ мм, длина посадочной поверхности $l = 60$ мм, высота микронеровностей посадочных поверхностей $R_{z1} = 4$ мкм, $R_{z2} = 6$ мкм, модуль упругости материала (сталь) деталей $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, среднее значение и коэффициент вариации коэффициента трения соответственно равны $\bar{f} = 0,12$, $v_f = 0,1$, коэффициент K , учитывающий уменьшение со временем давление, равен $k = 1,5$.

Решение. Среднее значение \bar{N} и коэффициент вариации v_N натяга определяем в зависимости от допусков диаметров вала и отверстия $t = t_e = t_E = 39$ мкм, а также нижнего отклонения диаметра вала $ei = 97$ мкм (значения выбраны по таблицам допусков)

$$\bar{N} = ei = 97 \text{ мкм};$$

$$v_N = \frac{\sqrt{2} \cdot t}{6ei} = \sqrt{2} \cdot 39 / 6 \cdot 97 = 0,0948,$$

Поправка на обмятие микронеровностей
 $u = 1,2(R_{z1} + R_{z2}) = 1,2(4 + 6) = 12$ мкм.

$$\text{Коэффициент } \psi = \frac{1 + (d/D)^2}{1 - (d/D)^2} = \frac{1 + (48/85)^2}{1 - (48/85)^2} = 1,936.$$

Среднее значение давления на посадочной поверхности

$$p = \frac{(\bar{N} - u)E \cdot 10^{-3}}{d(1 + \psi)} = \frac{(97 - 12)2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3}}{48(1 + 1,936)} = 126,7 \text{ МПа.}$$

Коэффициент вариации давления v_p

$$v_p = \frac{\sigma_N}{\bar{N} - u} = v_N \frac{1}{1 - u/\bar{N}} = 0,0948 \frac{1}{(1 - 12/97)} = 0,108.$$

Среднее значение и коэффициент вариации предельного по прочности сцепления момента

$$T_{\text{lim}} = 0,5 \cdot 10^{-3} \pi d^2 l p f / K = 0,5 \cdot 10^{-3} \pi 48^2 \cdot 60 \cdot 126,7 \cdot 0,12 / 1,5 = 2200 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$v_{\text{lim}} = \sqrt{v_p^2 + v_f^2} = \sqrt{0,108^2 + 0,1^2} = 0,148..$$

Коэффициент запаса прочности сцепления по средним значениям момента.

$$\bar{n}_c = \bar{T}_{\text{lim}} / \bar{T} = 2200 / 1050 = 2,09.$$

Квантиль нормированного нормального распределения.

$$I_p = - \frac{\bar{n}_c - 1}{\sqrt{\bar{n}_c^2 v_{\text{lim}}^2 + v_T^2}} = - \frac{2,09 - 1}{\sqrt{2,09^2 \cdot 0,148^2 + 0,12^2}} = -3,285.$$

Вероятность безотказной работы P по критерию прочности сцепления, определенная по таблице 1 в зависимости от $I_p = -3,285$; $P(t) = 0,9995$.

Самостоятельная работа 9

Соединение зубчатого колеса со сплошным валом диаметром $d = 48$ мм соответствует посадке Н8/х8. Соединение нагружено вращающим моментом T , заданным случайной нормально распределенной величиной со средним значением \bar{T} , Н·м и коэффициентом вариации v_T . Определить вероятность безотказной работы соединения по критерию прочности сцепления, если известно, что диаметр ступицы зубчатого колеса $D = 85$ мм, длина посадочной поверхности l мм, среднее значение натяга $\bar{N} = 98$ мкм, коэффициент вариации натяга $v_N = 0,095$, высота микронеровностей посадочных поверхностей R_{z1} , R_{z2} , модуль упругости материала (сталь) деталей $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, среднее значение и коэффициент вариации коэффициента трения соответственно равны $\bar{f} = 0,11$, $v_f = 0,1$, ко-

эффицент K , учитывающий уменьшение со временем давление, равен $k = 1,4$.

Таблица 9.1 - Данные для расчета

№ В/В	\bar{T}	ν_T	l	R_{z1}	R_{z2}	№ В/В	\bar{T}	ν_T	l	R_{z1}	R_{z2}
1	1020	0,10	63	3	5	26	1099	0,10	54	5	7
2	1039	0,19	74	4	4	27	1088	0,12	65	4	6
3	1048	0,18	85	4	3	28	1076	0,10	76	3	5
4	1037	0,09	96	5	4	29	1057	0,11	86	4	4
5	1046	0,18	66	5	5	30	1084	0,12	97	5	3
6	1055	0,09	77	5	6	31	1049	0,09	97	6	4
7	1064	0,11	87	6	6	32	1083	0,14	85	6	5
8	1073	0,13	98	6	6	33	1047	0,09	74	6	6
9	1062	0,10	99	5	5	34	1065	0,15	63	5	6
10	1071	0,14	80	4	4	35	1066	0,09	53	4	6
11	1082	0,12	70	3	3	36	1067	0,10	42	3	5
12	1083	0,11	69	4	4	37	1085	0,09	40	4	4
13	1094	0,10	58	5	5	38	1058	0,08	50	3	3
14	1085	0,13	58	6	4	39	1067	0,11	60	4	4
15	1076	0,11	69	6	3	40	1077	0,12	79	5	5
16	107	0,12	70	6	4	41	1086	0,07	79	6	4
17	1087	0,11	87	5	5	42	1095	0,08	78	6	3
18	1078	0,12	96	4	6	43	1084	0,13	67	6	4
19	1089	0,11	96	3	6	44	1075	0,13	66	5	5
20	1079	0,09	84	4	6	45	1056	0,09	65	4	6
21	1050	0,08	73	5	5	46	1047	0,08	74	3	6
22	1069	0,16	62	6	4	47	1038	0,09	73	4	6
23	1068	0,18	51	5	3	48	1049	0,09	82	8	5
24	1058	0,09	41	4	4	49	1059	0,14	81	7	4
25	1057	0,13	52	3	6	50	1068	0,15	80	6	3

Практическая работа №10

Закономерности увеличения зазора между сопряженными деталями

Цель работы: определить закономерности увеличения зазора между сопряженными деталями

Общие сведения

Общие закономерности увеличения зазора между сопряженными деталями в зависимости от времени их работы или наработки могут быть проиллюстрированы кривой, характеризующей процесс изнашивания (рисунок 10.1). Этот тип кривой справедлив для большинства удовлетворительно сконструированных сопряжений типа вал-подшипник.

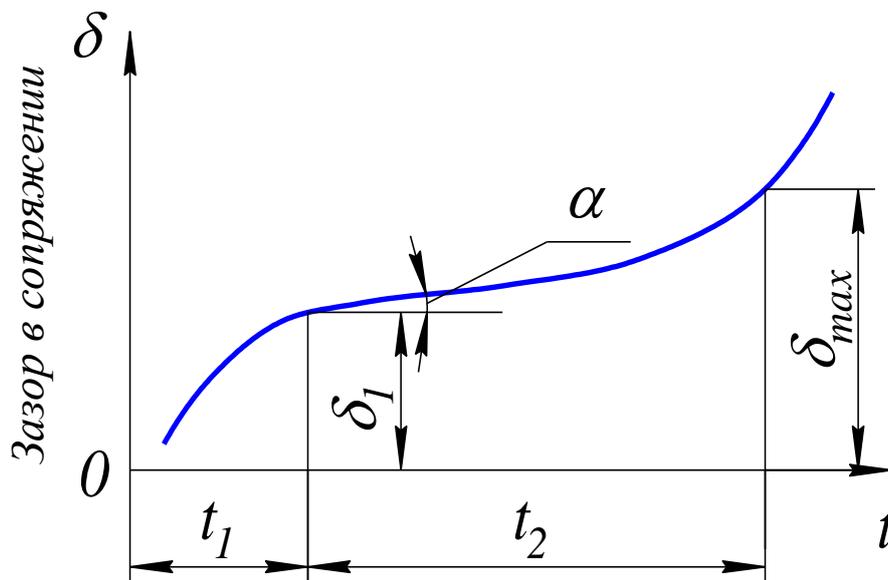


Рисунок 10.1 - Характеристика процесса изнашивания:

t_1 – период приработки; δ_1 - зазор в сопряжении после периода приработки; t_2 – период нормальной эксплуатации сопряжения; δ_{\max} - предельно допустимый зазор в сопряжении; α - угол наклона кривой изнашивания к оси абсцисс на участке нормальной эксплуатации.

Пример. Определить срок службы сопряжения в тысячах километров, если δ_1 , δ_{\max} и α заданы, а период приработки t_1 составляет 0,05 от периода нормальной эксплуатации сопряжения.

Решение: $\delta_{\max} = 100 \text{ мкм}$, $\delta_1 = 10 \text{ мкм}$, $\alpha = 30^\circ$, $t_1 = 0,02t_2$.

1. По подобию фигур из прямоугольного треугольника найдем сторону δ_2 .

$$\delta_2 = \delta_{\max} - \delta_1, \quad (10.1)$$

$$\delta_2 = 100 - 10 = 90 \text{ мкм}.$$

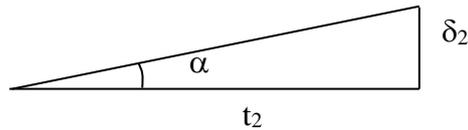


Рисунок 10.2 – Прямоугольный треугольник, полученный по характеристике процесса изнашивания

2. Вычислим период нормальной эксплуатации t_2 :

$$t_2 = \frac{\delta_2}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (10.2)$$

$$t_2 = \frac{90}{\operatorname{tg} 30} = 155,98 \text{ тыс. км}.$$

3. Определим период приработки t_1 из условия задачи:

$$t_1 = 0,02t_2, \quad (10.3)$$

$$t_1 = 0,02 \cdot 155,98 = 3,12 \text{ тыс. км}.$$

4. Тогда весь срок службы сопряжения найдем как сумму периодов приработки и нормальной эксплуатации:

$$t = t_1 + t_2; \quad (10.4)$$

$$t = 3,12 + 155,98 = 159,1 \text{ тыс. км}.$$

Самостоятельная работа 10

Определить срок службы сопряжения в тысячах километров, если δ_1 , δ_{\max} и α заданы, а период приработки t_1 составляет 0,05 от периода нормальной эксплуатации сопряжения.

Таблица 10.1 - Данные для расчета

№ в/в	δ_{\max} , мкм	δ_1 , мкм	α , град	№ в/в	δ_{\max} , мкм	δ_1 , мкм	α , град
1	120	15	20	26	125	89	20
2	140	20	25	27	145	78	25
3	180	25	35	28	185	67	30
4	200	30	35	29	205	66	35
5	250	35	35	30	255	55	55
6	280	40	40	31	285	54	30
7	300	45	45	32	306	44	20
8	330	40	45	33	337	33	25
9	350	50	50	34	354	33	35
10	380	55	55	35	383	44	35
11	130	70	20	36	135	55	35
12	240	69	25	37	243	66	40
13	350	59	35	38	356	77	45
14	460	48	35	39	467	88	45
15	370	38	35	40	375	98	50
16	280	48	40	41	285	99	55
17	190	57	45	42	190	89	20
18	290	67	45	43	290	79	25
19	380	76	50	44	355	68	35
20	440	75	55	45	445	57	35
21	360	85	55	46	355	47	35
22	250	75	20	47	250	36	40
23	140	65	25	48	145	28	45
24	230	54	35	49	230	47	45
25	440	43	45	50	447	56	50

Практическая работа №11

Расчет надежности систем по надежности элементов.

Последовательное и параллельное соединение элементов

Цель работы: провести расчет надежности систем по надежности элементов. Последовательное и параллельное соединение элементов

Общие сведения

Резервирование – применение дополнительных средств и (или) возможностей для сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов.

На основании теоремы умножения вероятностей, для последовательно соединенных деталей вероятность безотказной работы системы будет определяться по формуле:

$$P_n(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (11.1)$$

Поскольку вероятность безотказной работы детали измеряется числом в пределах от 0...1, при увеличении числа последовательно соединенных деталей вероятность безотказной работы системы падает и в пределе стремится к нулю. Приводимая выше формула показывает, что даже из самых надежных элементов может быть создана ненадежная система.

Вероятность безотказной работы системы параллельно соединенных элементов может быть определена по формуле:

$$P_n(t) = 1 - [1 - P(t)]^n, \quad (11.2)$$

где n – число параллельно возможных элементов.

Если вероятность отказа каждого параллельно включенного в цепь элемента различна, то суммарная вероятность безотказной работы системы может быть определена по формуле:

$$P_n(t) = 1 - [1 - P_1(t)] \cdot [1 - P_2(t)] \cdot \dots \cdot [1 - P_n(t)]. \quad (11.2)$$

С точки зрения теории надежности автомобиль представляет собой сложную техническую систему (рис. 3), состоящую из последовательно соединенных (например, трансмиссия) и параллельно соединенных между собой элементов (тормозная система).

Пример. Определить вероятность безотказной работы: системы (рисунок 11.1), состоящей из 4-х элементов, вероятность безотказной работы которых равна:

$$P_1(t) = 0,73; \quad P_2(t) = 0,80; \quad P_3(t) = 0,52; \quad P_4(t) = 0,97.$$

Решение: Для последовательно соединенных элементов 1-2, вероятность безотказной работы найдем, как произведение вероятностей этих элементов, т.е.

$$P_{1-2}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t); \quad P_{1-2}(t) = 0,73 \cdot 0,8 = 0,584.$$

2. Вероятность безотказной работы элементов, параллельно соединенных, 3-4 найдем по формуле:

$$P_{3-4}(t) = 1 - [1 - P_3(t)] \cdot [1 - P_4(t)];$$

$$P_{3-4}(t) = 1 - (1 - 0,52) \cdot (1 - 0,97) = 0,986.$$

3. Вероятность безотказной работы всей системы:

$$P_{1-4}(t) = P_{1-2}(t) \cdot P_{3-4}(t); \quad P_{1-4}(t) = 0,584 \cdot 0,986 = 0,576.$$

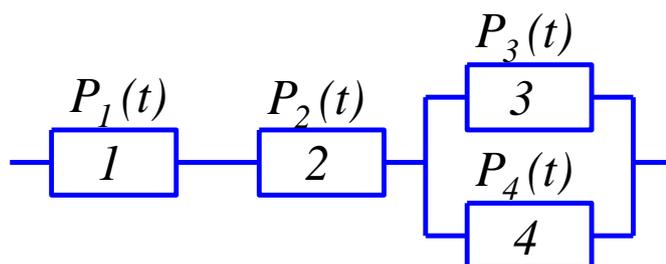


Рисунок 11.1 - Система элементов

Самостоятельная работа 11

Определить вероятность безотказной работы:

1. Для системы состоящей из N однотипных элементов с равными вероятностями безотказной работы $P_n(t)$, при последовательном и параллельном соединениях элементов.

2. Для системы, представленной на рисунке 4 и заданных вероятностях безотказной работы $P_1(t) - P_9(t)$ ее элементов.

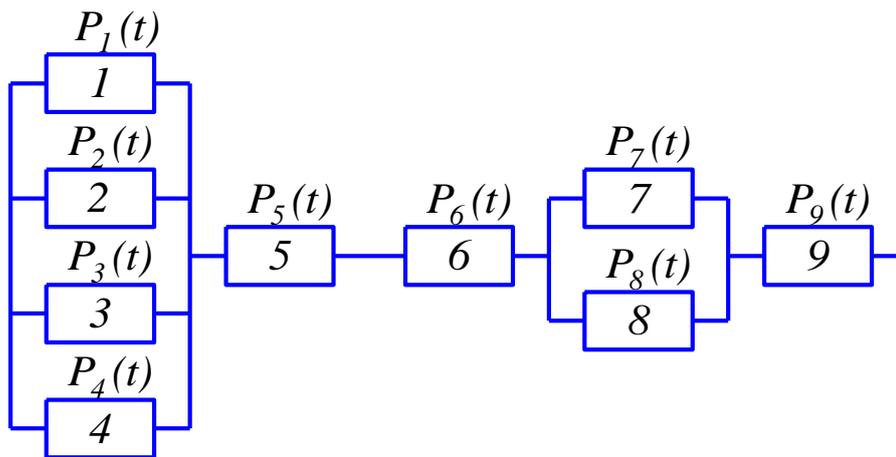


Рисунок 11.2 - Структурная схема автомобиля

Таблица 11.1 - Данные для расчета

№ в/в	N, шт.	$P(t)$	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$	$P_4(t)$	$P_5(t)$	$P_6(t)$	$P_7(t)$	$P_8(t)$	$P_9(t)$
1	4	0,70	0,94	0,28	0,66	0,92	0,81	0,71	0,89	0,85	0,53
2	8	0,85	0,65	0,89	0,80	0,95	0,89	0,81	0,55	0,56	0,83
3	12	0,55	0,78	0,63	0,90	0,84	0,73	0,62	0,83	0,75	0,55
4	5	0,45	0,91	0,75	0,98	0,89	0,56	0,78	0,80	0,64	0,71
5	10	0,65	0,82	0,37	0,78	0,73	0,84	0,59	0,64	0,83	0,62
6	9	0,50	0,62	0,90	0,33	0,54	0,71	0,64	0,81	0,72	0,89
7	12	0,75	0,76	0,65	0,74	0,68	0,49	0,56	0,77	0,94	0,76
8	11	0,60	0,98	0,70	0,56	0,80	0,61	0,88	0,82	0,67	0,92
9	12	0,80	0,84	0,35	0,29	0,51	0,73	0,65	0,58	0,90	0,36
10	7	0,40	0,61	0,55	0,91	0,49	0,39	0,94	0,76	0,54	0,73
11	3	0,72	0,94	0,25	0,66	0,97	0,88	0,77	0,83	0,75	0,58
12	6	0,89	0,65	0,77	0,80	0,77	0,89	0,81	0,55	0,56	0,83
13	7	0,55	0,78	0,63	0,90	0,84	0,73	0,62	0,83	0,75	0,55
14	8	0,75	0,91	0,75	0,78	0,55	0,56	0,65	0,80	0,64	0,71
15	13	0,37	0,82	0,37	0,59	0,73	0,84	0,55	0,64	0,83	0,55
16	14	0,55	0,62	0,90	0,64	0,54	0,71	0,91	0,81	0,55	0,89
17	15	0,75	0,76	0,65	0,56	0,68	0,49	0,71	0,77	0,94	0,76
18	16	0,60	0,98	0,70	0,88	0,55	0,61	0,92	0,82	0,67	0,92
19	17	0,80	0,84	0,35	0,90	0,51	0,73	0,65	0,58	0,70	0,55
20	18	0,40	0,55	0,55	0,91	0,49	0,39	0,94	0,76	0,54	0,73

21	19	0,77	0,94	0,28	0,66	0,88	0,81	0,71	0,89	0,85	0,53
22	20	0,66	0,65	0,89	0,80	0,95	0,89	0,81	0,55	0,56	0,89
23	7	0,55	0,78	0,66	0,90	0,84	0,88	0,55	0,83	0,75	0,55
24	8	0,45	0,91	0,75	0,98	0,89	0,56	0,78	0,88	0,64	0,77
25	9	0,88	0,82	0,37	0,78	0,66	0,84	0,59	0,64	0,83	0,62
26	4	0,50	0,62	0,88	0,33	0,54	0,71	0,66	0,81	0,72	0,89
27	5	0,75	0,76	0,65	0,74	0,68	0,49	0,56	0,77	0,94	0,76
28	6	0,88	0,98	0,70	0,56	0,80	0,61	0,88	0,66	0,66	0,92
29	7	0,80	0,84	0,35	0,29	0,51	0,88	0,65	0,58	0,90	0,66
30	8	0,40	0,88	0,55	0,91	0,88	0,39	0,94	0,76	0,54	0,73
31	9	0,70	99	0,44	0,66	0,92	0,51	0,71	0,89	0,85	0,34
32	10	0,85	0,65	0,89	0,44	0,95	0,89	0,81	0,44	0,56	0,83
33	11	0,44	0,78	0,63	0,90	0,84	0,73	0,62	0,83	0,75	0,53
34	12	0,45	0,44	0,75	0,98	0,89	0,77	0,78	0,80	0,63	0,71
35	13	0,65	0,82	0,37	0,44	0,73	0,84	0,59	0,33	0,83	0,62
36	14	0,50	0,62	0,90	0,33	0,33	0,44	0,64	0,81	0,72	0,89
37	15	0,75	0,76	0,65	0,33	0,68	0,49	0,56	0,44	0,94	0,76
38	16	0,55	0,98	0,33	0,56	0,90	0,61	0,88	0,82	0,67	0,44
39	17	0,80	0,44	0,35	0,55	0,51	0,22	0,65	0,45	0,90	0,36
40	18	0,66	0,61	0,55	0,91	0,49	0,39	0,94	0,56	0,67	0,73
41	19	0,70	0,94	0,78	0,66	0,89	0,81	0,71	0,89	0,85	0,53
42	4	0,80	0,65	0,84	0,80	0,94	0,80	0,81	0,55	0,50	0,88
43	5	0,50	0,70	0,60	0,90	0,80	0,73	0,62	0,80	0,70	0,55
44	6	0,45	0,90	0,75	0,90	0,89	0,56	0,78	0,80	0,64	0,71
45	7	0,60	0,80	0,30	0,78	0,73	0,84	0,58	0,64	0,83	0,62
46	8	0,50	0,62	0,90	0,33	0,58	0,71	0,64	0,81	0,72	0,80
47	9	0,75	0,70	0,65	0,74	0,74	0,49	0,56	0,77	0,94	0,78
48	8	0,60	0,90	0,70	0,50	0,80	0,60	0,80	0,82	0,67	0,90
49	7	0,80	0,84	0,35	0,29	0,51	0,73	0,65	0,58	0,90	0,38
50	6	0,40	0,60	0,58	0,90	0,48	0,38	0,94	0,78	0,54	0,78

Практическая работа №12

Расчет надежности систем на стадии проектирования

Цель работы: провести расчет надежности систем на стадии проектирования

Общие сведения

На основании теоремы умножения вероятностей, для последовательно соединенных деталей вероятность безотказной работы системы будет определяться по формуле:

$$P_n(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (12.1)$$

Вероятность безотказной работы системы параллельно соединенных элементов может быть определена по формуле:

$$P_n(t) = 1 - [1 - P(t)]^n, \quad (12.2)$$

где n – число параллельно возможных элементов.

Если вероятность отказа каждого параллельно включенного в цепь элемента различна, то суммарная вероятность безотказной работы системы может быть определена по формуле:

$$P_n(t) = 1 - [1 - P_1(t)] \cdot [1 - P_2(t)] \cdot \dots \cdot [1 - P_n(t)]. \quad (12.3)$$

Пример. Проектируется механическая система из 5-и блоков с частично известными параметрами, которая должна работать в течение $m=3500$ циклов. Для блоков 2,3 и 4 известны вероятности безотказной работы: $P_2 = 0,98$, $P_3 = 0,99$ и $P_4 = 0,998$. Для блоков 1 и 5 экспериментально установлено число отказов за m циклов работы: $n_1 = 40$, а $n_5 = 50$. Продолжительность восстановления системы после отказов составляет $t_p = 15$. Отдельные блоки могут быть соединены следующим образом (рисунок 12.1).

1. Последовательно 1-2-3-4-5.
2. Параллельно (1,2,3,4,5).
3. Смешанным образом 1-(2,3,4)-5 и (1,2) – (4,5).

Рассчитать:

1. Число отказов n_2 , n_3 , n_4 для блоков 2,3,4.
2. Вероятность безотказной работы P_1 и P_2 для блоков 1 и 5.
3. Вероятность безотказной работы для всей системы при ее компоновке по всем схемам рисунка 12.1.

4. Коэффициент готовности для соединения по схемам 3.1 и 3.2.
5. Коэффициент ремонта.

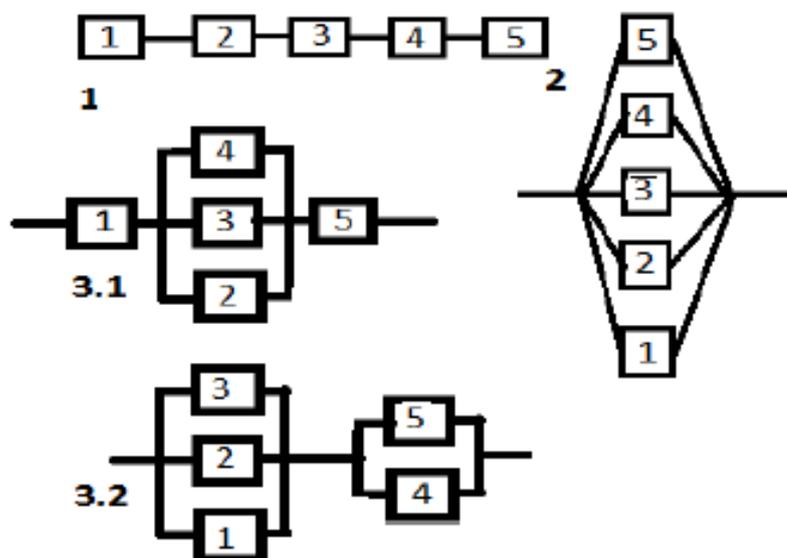


Рисунок 12.1 – Схемы соединения блоков

Решение:

1. Определяем число отказов блоков 2,3 и 4.

$$n_2 = (1-P_2) \cdot m = 70,$$

$$n_3 = 35,$$

$$n_4 = 7.$$

2 Определяем вероятность безотказности работы блоков 1 и 5.

$$P_1 = 1 - (n_1/m) = 0,9886, \quad P_5 = 1 - (n_5/m) = 0,9857.$$

3. Определяем вероятность безотказной работы всей системы при компоновке 1

$$P = 0,9435$$

4 Определяем вероятность безотказной работы всей системы при компоновке 2

$$P = 1 - 6,521 \cdot 10^{-11} \approx 1.$$

5 Определяем вероятность безотказной работы всей системы при компоновке 3.1.

$$P = 0,9745.$$

6 Определяем вероятность безотказной работы всей системы при компоновке 3.2.

$$P = 0,9997.$$

7. Определяем коэффициент готовности для компоновки 3.1.

- число отказов $n = (1-P)*m = (1-0,9745)*3500 = 89$.

- время на ремонт отказов $t = t_p*n = 15*89=1335$ циклов.

- коэффициент готовности $K_r = m/(m+t) = 3500/(3500+1335)=0,7239$.

8 Определяем коэффициент готовности для компоновки 3.2.

- число отказов $n = (1-P)*m = (1-0,9997)*3500 = 1$.

- время на ремонт отказов $t = t_p*n = 15*1=15$ циклов

- коэффициент готовности $K_r = m/(m+t) = 3500/(3500+15)=0,996$.

9 Определяем коэффициент ремонта системы при компоновке 3.1.

$K_p = t/ m = 1335/3500 =0,38$.

Самостоятельная работа 12

Проектируется механическая система из 5-и блоков с частично известными параметрами, которая должна работать в течение m циклов. Для блоков 2,3 и 4 известны вероятности безотказной работы: $P_2 = 0,92$, $P_3 = 0,95$ и P_4 - приведено в таблице 1. Для блоков 1 и 5 экспериментально установлено число отказов за m циклов работы: n_1 – в таблице 1, а $n_5 = 60$. Продолжительность восстановления системы после отказов составляет t_p в таблице 1. Отдельные блоки могут быть соединены следующим образом (рисунок 1).

4. Последовательно 1-2-3-4-5.

5. Параллельно (1,2,3,4,5).

6. Смешанным образом 1-(2,3,4)-5 и (1,2) – (4,5).

Рассчитать:

6. Число отказов n_2 , n_3 , n_4 для блоков 2,3,4

7. Вероятность безотказной работы P_1 и P_2 для блоков 1 и 5.

8. Вероятность безотказной работы для всей системы при ее компоновке по всем схемам рисунка 1.

9. Коэффициент готовности для соединения по схемам 3.1 и 3.2.

10. Коэффициент ремонта.

Исходные данные

№п/п	n_1	$P_4(t)$	m	t_p	№п/п	n_1	$P_4(t)$	m	t_p
1	20	0.978	4000	10	16	30	0.986	3500	12
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11	30	0.986	4000	12	26	40	0.998	3500	15
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				

Практическая работа №13

Расчет надежности систем

Цель работы: провести расчет надежности систем

Общие сведения

На основании теоремы умножения вероятностей, для последовательно соединенных деталей вероятность безотказной работы системы будет определяться по формуле:

$$P_n(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t). \quad (13.1)$$

Вероятность безотказной работы системы параллельно соединенных элементов может быть определена по формуле:

$$P_n(t) = 1 - [1 - P(t)]^n, \quad (13.2)$$

где n – число параллельно возможных элементов.

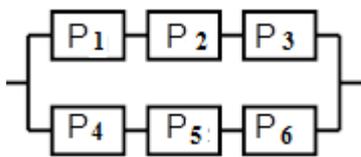
Если вероятность отказа каждого параллельно включенного в цепь элемента различна, то суммарная вероятность безотказной работы системы может быть определена по формуле:

$$P_n(t) = 1 - [1 - P_1(t)] \cdot [1 - P_2(t)] \cdot \dots \cdot [1 - P_n(t)]. \quad (13.3)$$

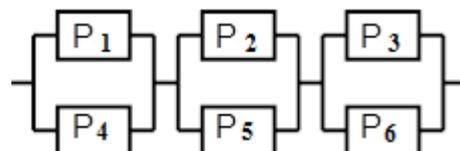
Многовариантная задача 13

Определить вероятность безотказной работы системы. Выбрать схему, согласно, своего варианта, начертить, подробно расписание решение, если

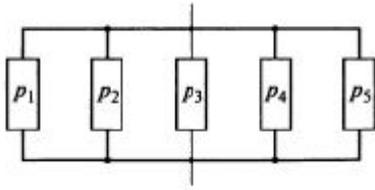
$P_1=0,98$ $P_2=0,95$ $P_3=0,57$ $P_4=0,84$ $P_5=0,66$ $P_6=0,78$ $P_7=0,62$ $P_8=0,91$ $P_9=0,89$.



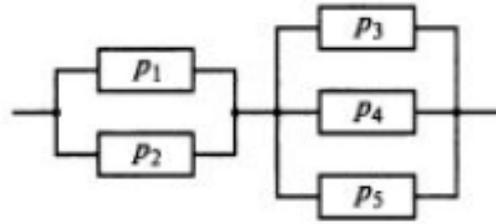
1



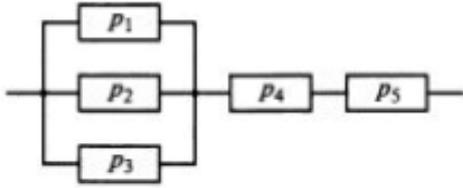
2



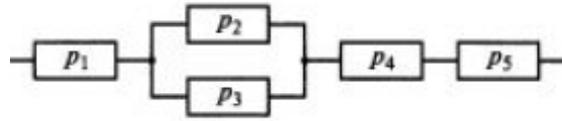
3



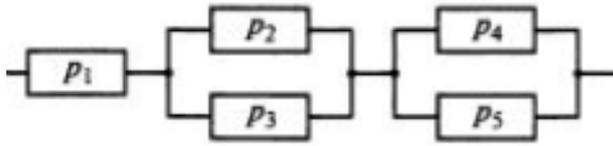
4



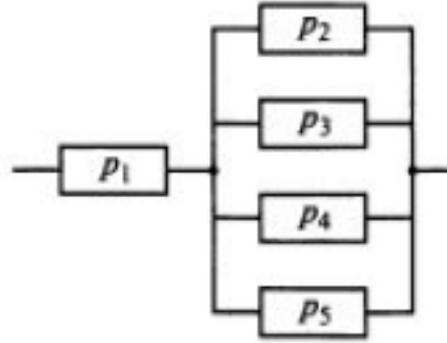
5



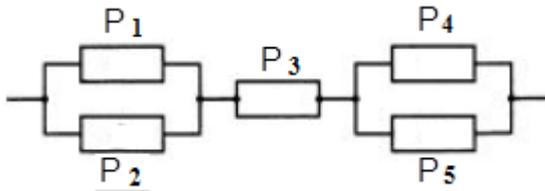
6



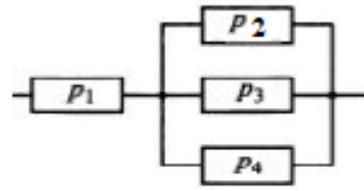
7



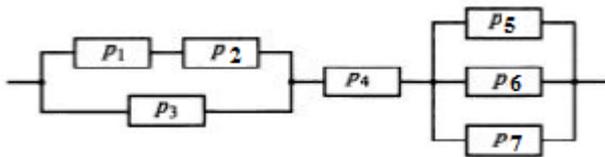
8



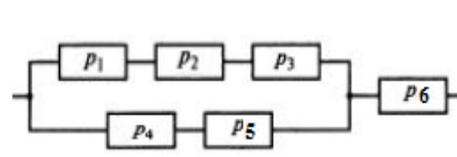
9



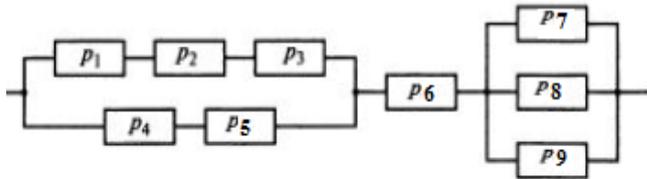
10



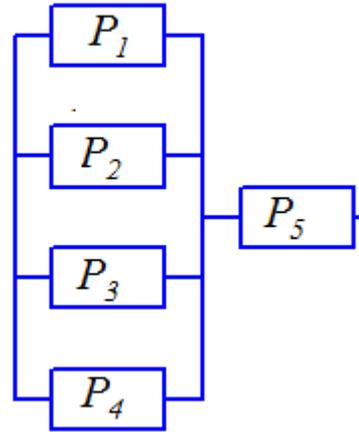
11



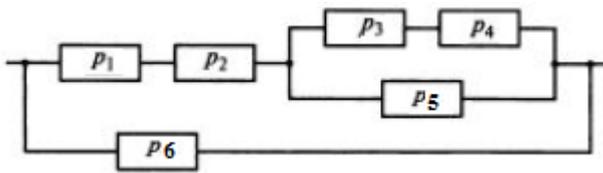
12



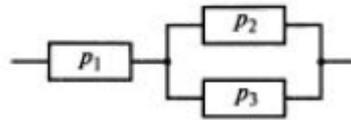
13



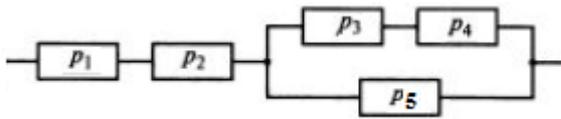
14



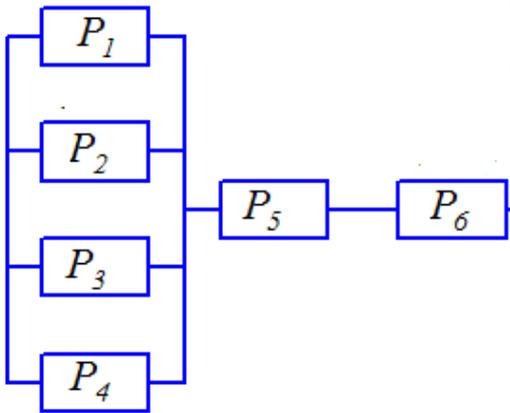
15



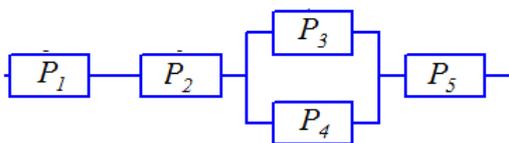
16



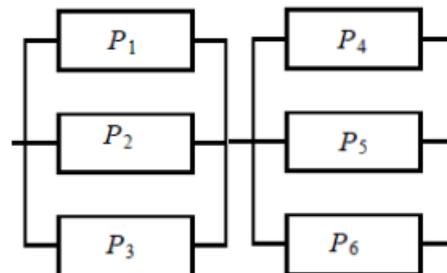
17



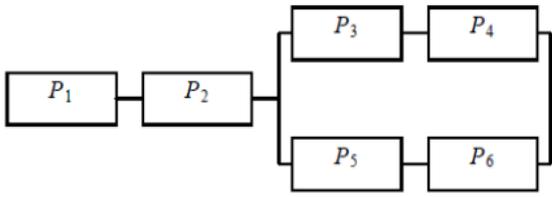
18



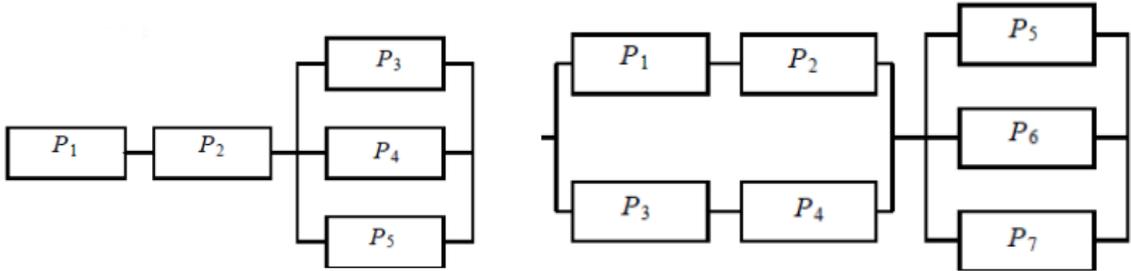
19



20

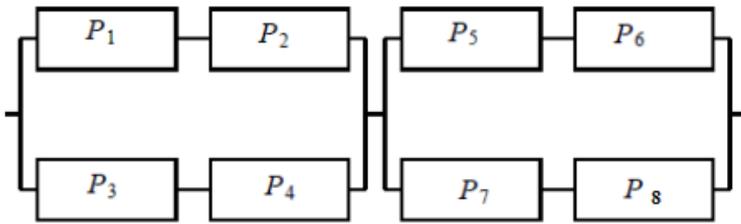


21

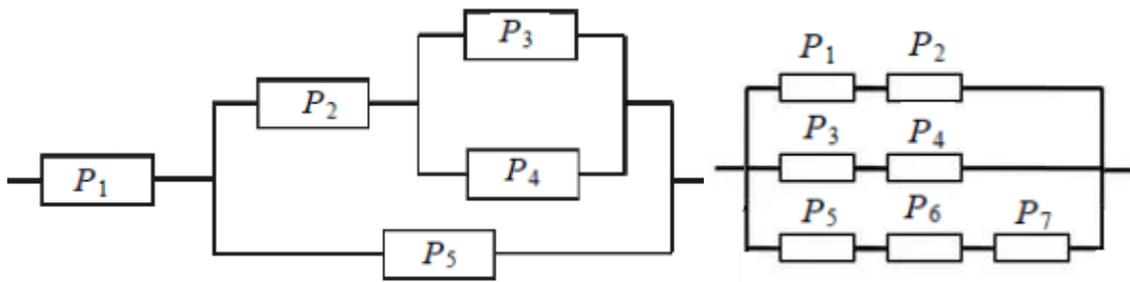


22

23

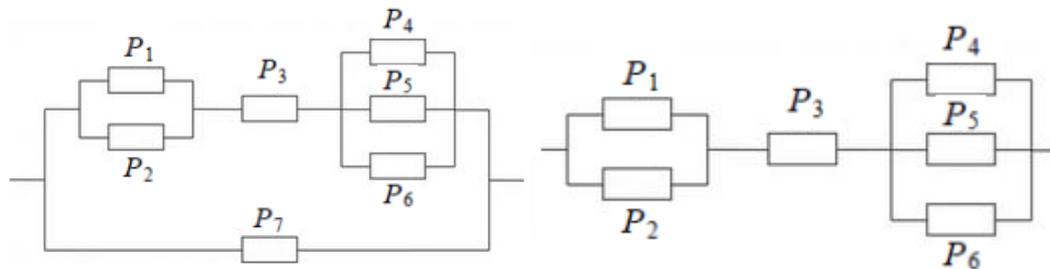


24

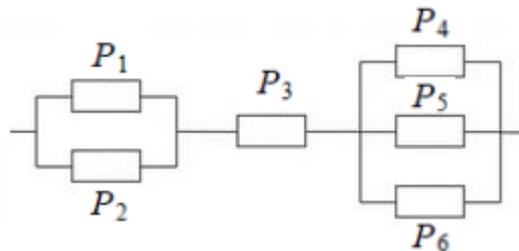


25

26



27



28

Практическая работа №14
Уровни надежности
Самостоятельная работа 14

Таблица 14.1 - Данные для выполнения итоговой работы

№ в/в	
1	<ul style="list-style-type: none"> • Уровни надежности (перечислить) • Ремонтпригодность • Определить надежность сложной системы $P_1(t)=0,31$, $P_2(t)=0,12$, $P_3(t)=0,41$ при параллельном соединении
2	<ul style="list-style-type: none"> • Критерий надежности • Дорожные условия влияющие на надежность автомобиля • Рассчитать надежность сложной системы $P_1(t)=0,4$, $P_2(t)=0,5$. при последовательном соединении
3	<ul style="list-style-type: none"> • Ремонтпригодность • Надежность и долговечность автомобиля зависят от ряда факторов • Если вероятность безотказной работы машины в течение некоторого времени равняется 85%, какова вероятность того, что машины данной модели потеряют свою работоспособность раньше заданного времени.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Долговечность • Классификация показателей надежности • Рассчитать надежность сложной системы $P_1(t)=0,87$, $P_2(t)=0,52$. при параллельном соединении
5	<ul style="list-style-type: none"> • Интенсивность отказов • Важными конструктивными факторами, влияющими на надежность и долговечность автомобиля являются • Рассчитать надежность сложной системы $P_1(t)=0,24$, $P_2(t)=0,5$. при параллельном соединении
6	<ul style="list-style-type: none"> • Отказ • Функцию распределения наработки до отказа • Определить вероятность безотказной работы, если квантиль -0,24
7	<ul style="list-style-type: none"> • Безотказность • Технологические факторы влияющие на надежность автомобиля • Определить вероятность безотказной работы, если квантиль -0,09
8	<ul style="list-style-type: none"> • Надежность • Геометрический смысл функции распределения наработки до отказа $F(t)$ и вероятности безотказной работы $P(t)$ • Определить надежность сложной системы $P_1(t)=0,21$, $P_2(t)=0,62$, $P_3(t)=0,6$ при последовательном соединении

9	<ul style="list-style-type: none"> • Экономическая характеристика надежности • Интенсивность отказов $\lambda(t)$ определяется • Если вероятность безотказной работы машины в течение некоторого времени равняется 63%, какова вероятность того, что машины данной модели потеряют свою работоспособность раньше заданного времени.
10	<ul style="list-style-type: none"> • Работоспособность • Математическое ожидание m_i характеризует • Определить надежность сложной системы $P_1(t)=0,1$, $P_2(t)=0,2$, $P_3(t)=0,4$, $P_4(t)=0,5$ при параллельном соединении
11	<ul style="list-style-type: none"> • Технический ресурс • Среднее квадратичное отклонение (СКО) σ_i характеризует • Определить вероятность безотказной работы, если квантиль -0,7
12	<ul style="list-style-type: none"> • Сохраняемость • Надежность и долговечность автомобиля зависят от ряда факторов, которые по условию эксплуатации определяются • Если вероятность безотказной работы машины в течение некоторого времени равняется 74%, какова вероятность того, что машины данной модели потеряют свою работоспособность раньше заданного времени.
13	<ul style="list-style-type: none"> • Исправное состояние • Надежность и долговечность автомобиля зависят от ряда факторов, которые по уровню технической эксплуатации определяются • Определить надежность сложной системы $P_1(t)=0,12$, $P_2(t)=0,21$, $P_3(t)=0,41$ при последовательном соединении
14	<ul style="list-style-type: none"> • Предельное состояние • Важными конструктивными факторами, влияющими на надежность и долговечность автомобиля и его элементов, являются • Определить вероятность безотказной работы, если квантиль -0,33
15	<ul style="list-style-type: none"> • Восстанавливаемые ТС • Одним из эффективных методов повышения надежности систем при конструировании является • Определить надежность сложной системы $P_1(t)=0,02$, $P_2(t)=0,41$, $P_3(t)=0,21$ при последовательном соединении
16	<ul style="list-style-type: none"> • Невосстанавливаемые ТС • Технологические факторы влияющие на надежность автомобиля Определить надежность сложной системы $P_1(t)=0,62$, $P_2(t)=0,49$, при последовательном и параллельном соединении
17	<ul style="list-style-type: none"> • Случайной величиной • Дорожные условия влияющие на надежность автомобиля Определить вероятность безотказной работы, если квантиль -0,8
18	<ul style="list-style-type: none"> • плотность распределения • Для уменьшения влияния дорожных условий на износ автомобиля необ-

	<p>ходимо</p> <ul style="list-style-type: none"> • Определить вероятность безотказной работы, если квантиль -0,19
19	<ul style="list-style-type: none"> • Коэффициенты надежности по отказам • Влияние климатических условий на автомобиль обуславливается • Если вероятность безотказной работы машины в течение некоторого времени равняется 44%, какова вероятность того, что машины данной модели потеряют свою работоспособность раньше заданного времени.
20	<ul style="list-style-type: none"> • Коэффициент простоя • С целью уменьшения влияния климатических условий используют • Определить надежность сложной системы $P_1(t)=0,72$, $P_2(t)=0,21$, $P_3(t)=0,91$ при параллельном соединении
21	<ul style="list-style-type: none"> • Критерий экономической эффективности • Транспортные условия и режим эксплуатации автомобиля зависят • Если вероятность безотказной работы машины в течение некоторого времени равняется 56%, какова вероятность того, что машины данной модели потеряют свою работоспособность раньше заданного времени.
22	<ul style="list-style-type: none"> • Проектный уровень надежности определяется • Наиболее агрессивная категория атмосферы для хранения, транспортирования и эксплуатации автомобилей является • Определить вероятность безотказной работы, если квантиль -0,32
23	<ul style="list-style-type: none"> • Стадии жизненного цикла изготовление, соответствует уровень надежности • Производственный уровень надежности определяется • Определить надежность сложной системы $P_1(t)=0,44$, $P_2(t)=0,11$, $P_3(t)=0,21$ при последовательном соединении
24	<ul style="list-style-type: none"> • По способу определения показатели надежности классифицируют на • Послеремонтный уровень надежности определяется • Определить вероятность безотказной работы, если квантиль -0,52
25	<ul style="list-style-type: none"> • По области распространения показатели надежности классифицируют на • Стадии жизненного цикла планирование, соответствует уровень надежности • Если вероятность безотказной работы машины в течение некоторого времени равняется 8%, какова вероятность того, что машины данной модели потеряют свою работоспособность раньше заданного времени.
26	<ul style="list-style-type: none"> • При введении слишком «жесткого» критерия надежности • Событие – это • Если вероятность безотказной работы машины в течение некоторого времени равняется 91%, какова вероятность того, что машины данной модели потеряют свою работоспособность раньше заданного времени.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проников, А. С. Надежность машин. [Текст] / А. С. Проников, М.: Машиностроение, 1978. 592 с.
2. Рыжаков, В. В. Надежность технических систем и ее прогнозирование. Часть 1. Надежность технических систем. [Текст] / В. В. Рыжаков, Издание II, исправленное / Учебное пособие с грифом УМО. Пенза: ПТИ, 2001. 94 с.
3. Синопальников В. А. Надежность и диагностика технологических систем: учебник / В. А. Синопальников, С. Н. Григорьев. - М. : Высшая школа, 2005. - 343 с. :
4. Кубарев, А. И. Надежность в машиностроении / А. И. Кубарев, М.: Издательство стандартов, 1989. 224 с.
5. Зубрицкас, И. И. Основы теории надежности и технической эксплуатации автомобилей. / И. И. Зубрицкас, Учеб. пособие. Новгород, 1997, 127 с.
6. Куприянова И. Ю. Основы теории надежности и диагностики : Конспект лекций. Ч. 1 / И. Ю. Куприянова, И. В. Поветкин ; Курск. гос. техн. ун-т. - Курск : КГТУ, 2001. - 98 с.
7. Кузнецова Л.П. Основы теории надежности: методические указания по выполнению контрольной работы для студентов направлений 190600.62, 190700.62 очной и заочной форм обучения/ Юго-Зап. Гос. ун-т; сост.: Л.П. Кузнецова Курск, 2013. 28 с.: ил. 4, табл. 8, Библиогр.: 6.: с. 28.