

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий

по дисциплине вариативной части

по выбору вуза профессионального цикла

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

для студентов всех форм обучения

направления подготовки 15.04.02

«Технологические машины и оборудование»

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению практических занятий

по дисциплине вариативной части

по выбору вуза профессионального цикла

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

для студентов всех форм обучения

направления подготовки 15.04.02

«Технологические машины и оборудование»

Рассмотрены на заседании
кафедры «Механическое оборудование
заводов черной металлургии»
им. проф. Седуша В.Я.
Протокол № 11 от 03.04.2017 г.

Утверждены на заседании
учебно-издательского совета ДОННТУ
Протокол № __ от __.__. 20__ г.

Донецк
ДОННТУ
2017

УДК 669. (075.8)

Методические указания к проведению практических занятий по дисциплине вариативной части по выбору вуза профессионального цикла «Надежность машин» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: Е. В. Ошовская. – Донецк : ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2017. – 34 с.

Отображены цель и задачи практических занятий по курсу «Надежность машин», их структура, порядок подготовки к ним, последовательность действий преподавателя и студентов, направленных на достижение требуемых результатов в усвоении теоретического материала.

Составители: Ошовская Е.В., к.т.н., доцент, доцент кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.

Рецензенты: д.т.н., профессор А.П. Кононенко
д.т.н., профессор В.А. Сидоров

Ответственный за выпуск:
д. т. н., профессор С. П. Еронько

СОДЕРЖАНИЕ

Практическое работа № 1. ОБРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ	4
Практическое работа № 2. СРАВНЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ	10
Практическое работа №3. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	12
Практическая работа №4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛИ	13
ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ	16

Практическое работа № 1.

ОБРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ

Объекты исследования – подшипники роликов рольганга

Исходные данные – статистические данные о значениях наработки на отказ T (сут.) и времени восстановления τ (мин.). Объем наблюдений – 20 значений.

Цель работы: определение значений показателей надежности объекта по статистическим данным.

Задание

1. На основании статистических данных определить вид и параметры законов распределения случайных величин T и τ .
 - 1.1. Найти максимальное и минимальное значение.
 - 1.2. Разбить диапазон изменения случайной величины на интервалы.
 - 1.3. Построить гистограмму распределения значений случайной величины.
 - 1.4. Используя программу ZAKON, произвести расчет параметров законов распределения:
 - 1.4.1. Записать в отчет таблицу, содержащую значения параметров законов распределения и значения критерия Колмогорова.
 - 1.4.2. Выбрать наилучший закон распределения.
 - 1.5. Для установленного закона распределения с учетом вычисленных параметров закона распределения записать выражение для интегральной функции распределения $F(x)$.
 - 1.6. Построить график функции $F(x)$.
2. Рассчитать среднюю наработку на отказ и среднее время восстановления подшипника.
3. Определить значение коэффициента готовности и коэффициента простоя объекта.
4. Определить вероятность отказа подшипника на момент времени $t_3=15$ сут.
5. Вычислить вероятность восстановления работоспособного состояния объекта за время равное $\tau_3=30$ мин.

Ход работы

1. Обработка статистических данных в пакете программ ZAKON.
 - 1.1. Запустить файл **zakon.exe**.

1.2. С помощью клавиши **F10** или манипулятора "мышь" выбрать пункт меню "Ввод исходных данных", а в нем подпункт "Ввод новой машины".

1.3. В появившемся окне введите код и наименование данных. Перемещение по выделенным полям осуществляется клавишей **ТАВ**.

После ввода значений в поля, клавишей ТАВ (или манипулятором "мышь") перейти на кнопку "Сохранить" и нажать Enter (левую кнопку "мыши").

Эту операцию выполнить **два** раза, чтобы сформировать **два** файла, в которые будут занесены значения наработок на отказ и времени восстановления.

При этом поле "код машины" (трехзначное число) заполнить следующим образом:

а) для наработок - 10 + номер варианта (например, номер варианта 6 - код: 106);

б) для времени восстановления - 20 + номер варианта;

В поле "наименование машины" записать название данных (например, наработка и время).

1.4. Выйти из программы с помощью клавиш **Alt+X** или через соответствующий пункт меню.

1.5. Внести в соответствующие файлы статистические данные. Имена файлов имеют вид:

s_10*.dat - файл наработок;

s_20*.dat - файл времени восстановления.

Вызов файла на редактирование осуществляется клавишей **F4**. Сохранение набранных данных в файле - **F2**.

Все дальнейшие действия (п.1.6 – 1.11) выполняются сначала с файлом, содержащим значения наработок на отказ, а затем с файлом, содержащим значения времени восстановления.

1.6. Снова запустить файл **zakon.exe**.

Перейти в меню "Ввод исходных данных", "Список машин".

С помощью клавиш **ТАВ** и "**Пробел**" выбрать соответствующий файл из списка. Нажать **Enter**.

1.7. Перейти в пункт меню "Расчет".

Из появившихся сообщений записать в тетрадь данные о минимальном и максимальном значениях случайной величины и число интервалов разбиения диапазона n1.

1.8. В окне "Ввод данных" ввести округленную длину интервала разбиения и начало первого интервала (переход в поля осуществляется клавишей **ТАВ**). Длину интервала и начало 1-го интервала необходимо подо-

брать таким образом, чтобы минимальное и максимальное значения попадали в интервалы, их число не превышало значение n1. Записать введенные значения в тетрадь.

!! Если в ходе расчета программа выдаст сообщение об ошибке, то необходимо повторить все действия, начиная с п.6, при этом указать другие значения для dt и xp.

1.9. После выполнения расчетов, перейти в пункт "Результаты расчета", "Вывод графиков". В появившемся окне выбрать пункт "Гистограмма" (клавишей **ТАВ** или "мышью"). Гистограмму привести в отчете. Клавишей **Esc** вернуться в меню.

1.10. Выбрать пункт меню "Результаты расчета", "Вывод таблиц", подпункт "Показатели закона. Критерий Колмогорова". В появившейся таблице представлены значения параметров для пяти законов распределения - нормального, экспоненциального, Вейбулла, гамма, логарифмически нормального - и значения критерия Колмогорова.

Таблицу привести в отчете.

Лучшим для описания распределения случайной величины считается тот закон распределения, для которого выполняется условие $alf < ad$ и alf минимально.

Этот закон нужно отметить в отчете.

Для лучшего закона распределения записать выражение интегральной функции, используя формулы из таблицы.

Закон распределения	Функция распределения	Параметры закона
Нормальный	$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}\right] dx$	\bar{x}, σ
Экспоненциальный	$F(x) = 1 - \exp(-\lambda x)$	λ
Вейбулла	$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right]$	a, b
Гамма-распределение	$F(x) = \frac{c^d}{\Gamma(d)} \int_0^x x^{d-1} \exp(-cx) dx$	c, d
Логарифмически нормальный	$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\ln x} \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right] dx$	x_0, σ

1.11. Выбрать пункт меню "Результаты расчета", подпункт "Вывод графиков" и для лучшего закона распределения просмотреть графики: функции распределения, плотности распределения и интенсивности распределения случайной величины. После каждого графика следует нажимать клавишу Esc.

График функции распределения привести в отчете.

Смысл выводимых графиков в зависимости от смысла случайной величины:

График Случайная Величина	Функция распределения $F(x)$	Плотность распределения $f(x)$	Интенсивность распределения $\lambda(x)$
Наработка	Вероятность отказа	Относительная частота возник- новения отказа	Интенсивность отказов
Время восстанав- ления	Вероятность восстановления	Относительная частота восста- новления	Интенсивность восстановления

2. Определение средней наработки на отказ и среднего времени восстановления подшипника.

Средняя наработка на отказ \bar{T} и среднее время восстановления $\bar{\tau}$ определяются по формулам математического ожидания $M[x]$, выражения для которых приведены в таблице. Для расчета используется формула закона распределения, который оказался **лучшим**.

Закон распределения	Параметры закона	Математическое ожидание
Нормальный	\bar{x}, σ	$M[x] = \bar{x}$
Экспоненциальный	λ	$M[x] = 1 / \lambda$
Вейбулла	a, b	$M[x] = a \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)$
Гамма-распределение	c, d	$M[x] = d / c$
Логарифмически нормальный	x_0, σ	$M[x] = \exp(x_0 + \sigma^2/2)$

$\Gamma(\cdot)$ – значение гамма-функции, определяется по справочнику.

3. Определение значение коэффициента готовности и коэффициента простоя объекта.

Коэффициент готовности:

$$K_r = \frac{T}{T + \bar{\tau}}$$

Коэффициент простоя:

$$K_n = 1 - K_r$$

4. Определение вероятности отказа подшипника на момент времени $t_3=15$ сут.

Вероятность отказа рассчитывается по выражению интегральной функции для лучшего закона распределения (см.таблицу), установленного при обработке данных о наработках на отказ подшипника.

Закон распределения	Функция распределения	Параметры закона
Нормальный	$Q(t_3) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{t_3} \exp\left[-\frac{(t_3 - T)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	\bar{x}, σ
Экспоненциальный	$Q(t_3) = 1 - \exp(-\lambda \cdot t_3)$	λ
Вейбулла	$Q(t_3) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t_3}{a}\right)^b\right]$	a, b
Гамма-распределение	$Q(t_3) = \frac{c^d}{\Gamma(d)} \int_0^{t_3} t^{d-1} \exp(-ct) dt$	c, d
Логарифмически нормальный	$Q(t_3) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_{-\infty}^{\ln t_3} \exp\left[-\frac{(t_3 - x_0)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	x_0, σ

5. Вычисление вероятности восстановления работоспособного состояния объекта за время равное $\tau_3=30$ мин.

Вероятность восстановления рассчитывается по выражению интегральной функции для лучшего закона распределения (см.таблицу), установленного при обработке данных о времени восстановления подшипника.

Закон распределения	Функция распределения	Параметры закона
Нормальный	$P_B(\tau_3) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\tau_3} \exp\left[-\frac{(\tau_3 - \tau)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	\bar{x}, σ
Экспоненциальный	$P_B(\tau_3) = 1 - \exp(-\lambda \cdot \tau_3)$	λ
Вейбулла	$P_B(\tau_3) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{\tau_3}{a}\right)^b\right]$	a, b
Гамма-распределение	$P_B(\tau_3) = \frac{c^d}{\Gamma(d)} \int_0^{\tau_3} t^{d-1} \exp(-ct) dt$	c, d
Логарифмически нормальный	$P_B(\tau_3) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^{\ln \tau_3} \exp\left[-\frac{(\tau_3 - x_0)^2}{2\sigma^2}\right] dt$	x_0, σ

Практическое работа № 2. СРАВНЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МАШИН МЕТОДОМ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Объекты исследования – подшипники роликов рольганга.

Исходные данные:

1. Число объектов исследования $N=6$.
2. Число показателей $m=4$.
3. Число экспертов $Z=5$.
4. Таблица значений показателей надежности.
5. Матрица ранжирования показателей экспертами.

Цель работы: сопоставить надежность однотипных элементов, установить элементы с наименьшей надежностью.

Задание

1. Используя результаты из 1-й части контрольной работы, в таблицу добавить строку, соответствующую исследуемому подшипнику. Внести в таблицу значения показателей надежности подшипника. В качестве показателей принять: X_1 – средняя наработка на отказ (T_{cp}), сут. (в таблицу значения заносить со знаком «←»); X_2 – среднее время восстановления (τ_{cp}), мин.; X_3 – коэффициент простоя (K_p); X_4 – вероятность отказа ($Q(t)$) на момент времени 15 сут.
2. Сформировать матрицу ранжирования показателей надежности, добавив к приведенным в ней оценкам экспертов строку с собственными рангами (каждый студент выступает в роли эксперта).
3. С помощью программы **Eksp_oc.exe** выполнить расчет, реализующий метод экспертного оценивания.
4. Результаты расчета занести в отчет по работе.
5. Сделать вывод о надежности подшипников.

Ход работы

1. Запустить программу **Eksp_oc.exe**.
2. Последовательно ввести число объектов исследования N , число показателей, число экспертов Z .
3. Для каждого объекта последовательно ввести значения показателей надежности $X[i,j]$, где i – номер объекта, j – номер показателя.
4. Последовательно ввести ранги показателей, выставленные экспертами.
5. Выписать сумму рангов и значение коэффициента конкордации (согласия мнений).
6. Ввести допустимое значения коэффициента конкордации $W_{доп}=0,5$.

Нажать кнопку Enter.

7. Записать в отчет значения средних рангов и значения функции выбора показателей.
8. Отметить объекты, исключенные из списка после предварительного отбора. Нажать кнопку Enter.
9. Записать значения коэффициентов весомости. Нажать кнопку Enter.
10. Записать значения обобщенной характеристики объектов. Нажать кнопку Enter.
11. Выписать значение средневзвешенной характеристики объектов и результаты проверки условия $\beta_i > \beta_0$ для объектов, оставшихся в списке.
12. Сделать окончательный вывод об исключении объектов из списка и установить подшипники с наименьшей надежностью (наибольшие значения β_i).

Практическое работа №3. РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЗАПАСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Объекты исследования – подшипники роликов ролганга.

Исходные данные:

1. Значение средней наработки на отказ подшипника качения (см. часть 1).
2. Количество однотипных подшипников – k .
3. Период планирования запасных элементов - $T_{пл}$.
4. Вероятность достаточности запасных элементов - α .

Цель работы: рассчитать необходимое количество запасных элементов для заданного уровня достаточности.

Задание

Определить необходимое количество запасных элементов, используя вероятностную методику расчета.

Ход работы

Расчет количества запасных частей по вероятностной модели выполняется в следующем порядке.

1. Определяется средний расход запасных частей на периоде планирования:

$$N_{ср} = \frac{kT_{пл}}{T_{п}}$$

2. Вычисляется коэффициент запаса:

$$p = 1.22 + 0.074x_1 - 0.086x_2 + 0.027x_1^2 + 0.036x_2^2 - 0.017x_1x_2 ,$$

где $x_1 = \frac{\alpha - 0.94}{0.04}$, $x_2 = \frac{N_{ср} - 50}{25}$.

3. Рассчитывается требуемое количество запасных частей:

$$n_{зч} = pN_{ср} .$$

Практическая работа №4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОЛНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛИ

Объект исследования – подшипник скольжения.

Исходные данные

1. Данные диагностики (износ, мм) подшипника скольжения: $y_1, t_1; y_2, t_2; \dots; y_{10}, t_{10}$.
2. Максимально допустимое значение величины износа подшипника - I_{\max} , мм.

Цель работы: выполнить прогноз полного и остаточного ресурсов подшипника.

Задание

1. С помощью пакета программ **PODBOR** по приведенным в таблице результатам диагностирования подобрать уравнение аппроксимирующей кривой $y=f(t)$, описывающей изменение технического состояния подшипников.
2. По полученной зависимости определить прогнозное значение полного ресурса подшипников - T_p .
3. Рассчитать значение остаточного ресурса $t_{\text{ост}}$.

Ход работы

1. Подбор уравнения аппроксимирующей кривой.
Подбор уравнения аппроксимирующей кривой осуществляется с помощью пакета прикладных программ **PODBOR**. Порядок подбора следующий.
 - 1.1. Найти на жестком диске директорию **PODBOR** и войти в нее.
 - 1.2. Создать файл с именем **y**.dat**, где вместо символов ****** написать номер своего варианта (комбинация клавиш для создания нового файла - **Shift+F4**). Из таблицы внести в файл результаты диагностирования (в колонку) - значения величины износа подшипников **y**. Сохранить результаты в файле (клавиша **F2**).Повторить описанные операции для значений использованного ресурса **t**, при этом в качестве имени файла принять **t**.dat**.
 - 1.3. Запустить файл **menu_pr.exe**.
 - 1.4. В появившейся строке меню с помощью клавиши **Enter** выбрать пункты "Ввод исходных данных", "Чтение файла".
 - 1.5. Используя клавиши управления курсором, выделить файл **y**.dat** и нажать **Enter**, а затем выделить файл **t**.dat** и снова нажать **Enter**.
 - 1.6. Просмотреть график изменения технического состояния подшип-

- ников, используя пункты меню "Ввод исходных данных", "Просмотр". Этот график необходимо привести в отчете о работе.
- 1.7. Перейти в пункт меню "Подбор". Нажать **Enter**. Выбрать подпункт "Подбор". Нажать **Enter**.
 - 1.8. Нажимая клавишу **Enter**, просмотреть последовательно появляющиеся таблицы.
 Выводятся следующие таблицы: 1) список уравнений, которых могут быть подобраны в данной программе; 2) список уравнений с указанием значений их коэффициентов (**a**, **b**, **c**) и критериев - коэффициента корреляции **r** между экспериментальными и рассчитанными значениями **y** и среднеквадратичного отклонения **sko**; 3) наилучшее уравнение аппроксимирующей кривой с указанием значений ее коэффициентов. Выбор лучшего уравнения осуществляется по максимальному коэффициенту корреляции.
 В отчет о лабораторной работе записать подобранное уравнение аппроксимирующей кривой $y=f(t)$, его коэффициенты и коэффициент корреляции.
 - 1.9. Выбрать пункты меню "Подбор", "Просмотр", чтобы визуально ознакомиться с качеством подбора аппроксимирующей кривой. Отобразить подобранную аппроксимирующую кривую на графике, приведенном в отчете.
 - 1.10. Через пункт меню "Выход" закончить работу с программой.

Дальнейшие действия выполняются без ЭВМ!!!!

2. Определение прогнозного значения полного ресурса детали.

Используя найденное выражение аппроксимирующей кривой, для нахождения прогнозного значения полного ресурса T_n детали необходимо решить уравнение:

$$I_{\max} = f(t).$$

Например, уравнение аппроксимирующей кривой имеет вид: $y = a + bt$. Тогда, в общем виде

$$I_{\max} = a + bt; \quad T_n = t = (I_{\max} - a) / b.$$

Некоторые выражения для расчета T_n приведены в таблице.

Решение уравнения и полученное значение T_n занести в отчет о работе. Отобразить найденное решение на графике.

№	Уравнение регрессии $y = f(t)$	Формулы для нахождения корней $T_{п} = \varphi(P_{доп.})$
1	$y = a + bt$	$T_{п} = (P_{доп.} - a) / b$
2	$y = at / (b + t)$	$T_{п} = b * P_{доп.} / (a - P_{доп.})$
3	$y = at^b$	$T_{п} = \sqrt[b]{P_{доп.} / a}$
4	$y = ab^t$	$T_{п} = (\ln(P_{доп.}) - \ln(a)) / \ln(b)$
5	$y = a \cdot \exp(bt)$	$T_{п} = (\ln(P_{доп.}) - \ln(a)) / b$

3. Определение остаточного ресурса.

Остаточный ресурс подшипника на момент времени t_{10} (момент последнего диагностирования) определяется по выражению:

$$t_{ост} = T_{п} - t_{10} .$$

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариант №1

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T , сут.	42	6	8	30	10	15	40	18	20	49
Время восстановления τ , мин	50	50	60	90	40	30	35	30	50	20

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T , сут.	21	13	19	11	7	26	34	12	45	18
Время восстановления τ , мин	55	20	75	35	25	20	55	40	55	45

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	2.6	3.0	3.1	3.5	3.8	4.3	4.9	5.8	6.5	8.3
Использованный ресурс t , сут.	1	5	8	16	22	27	30	35	40	45
Максимальный износ I_{\max} , мм								18		

Вариант №2

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	21	26	40	27	72	31	49	26	27	32
Время восстановления τ , мин	30	70	35	40	50	100	105	70	45	60

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	66	30	35	39	19	29	39	50	25	48
Время восстановления τ , мин	55	85	60	65	55	60	80	55	90	75

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	2.0	4.6	6.2	7.0	7.6	8.5	8.6	9.2	9.5	9.6
Использованный ресурс t , сут.	7	16	28	35	43	50	56	63	70	75
Максимальный износ I_{\max} , мм								10		

Вариант №3

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	177	134	98	73	240	229	160	91	114	205
Время восстановления τ , мин	15	30	15	30	60	10	10	80	55	30

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	184	138	94	121	91	102	94	117	96	142
Время восстановления τ , мин	25	25	45	40	20	40	20	45	20	55

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	4.0	7.3	7.6	8.5	8.7	9.3	9.8	10.2	10.6	11.3
Использованный ресурс t , сут.	10	15	30	45	60	75	90	110	130	150
Максимальный износ I_{\max} , мм								12		

Вариант №4

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	96	166	187	281	234	104	128	138	145	228
Время восстановления τ , мин	50	30	10	40	25	20	60	25	55	30

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	105	134	114	183	142	158	129	112	110	119
Время восстановления τ , мин	10	20	55	50	10	30	40	15	40	30

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	1.1	1.6	1.8	2.5	3.2	3.8	4.6	6.2	7.5	9.2
Использованный ресурс t , сут.	2	9	16	23	30	37	44	51	58	65
Максимальный износ I_{\max} , мм								15		

Вариант №5

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	131	61	75	126	99	41	105	76	114	61
Время восстановления τ , мин	30	20	20	25	15	25	30	15	20	20

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	106	45	91	69	80	72	70	85	54	62
Время восстановления τ , мин	25	25	40	20	25	15	15	25	20	25

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	3.0	3.6	4.2	4.8	5.3	6.7	7.4	8.4	9.9	11.5
Использованный ресурс t , сут.	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75
Максимальный износ I_{\max} , мм								18		

Вариант №6

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	6	14	24	100	24	21	31	47	54	11
Время восстановления τ , мин	20	25	20	15	50	60	10	20	20	45

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	82	34	48	71	41	67	68	70	53	96
Время восстановления τ , мин	20	30	10	15	45	50	25	25	15	35

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	6.0	6.6	7.7	8.5	8.7	9.2	9.4	9.4	9.8	10.5
Использованный ресурс t , сут.	4	6	13	20	27	34	41	48	55	66
Максимальный износ I_{\max} , мм								12		

Вариант №7

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	22	11	18	11	37	36	23	12	41	51
Время восстановления τ , мин	20	10	20	10	35	35	25	15	40	50

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	27	20	27	19	14	28	25	22	19	13
Время восстановления τ , мин	25	20	30	20	15	30	25	25	20	15

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	1.0	2.8	3.7	4.3	5.8	6.5	7.4	8.1	9.9	11.0
Использованный ресурс t , сут.	10	25	40	55	70	85	100	115	135	160
Максимальный износ I_{\max} , мм								12		

Вариант №8

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	7	13	9	6	26	37	29	46	48	28
Время восстановления τ , мин	15	45	35	60	30	20	30	30	35	60

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	12	19	15	20	32	10	13	11	26	23
Время восстановления τ , мин	15	40	40	15	40	35	20	20	45	25

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Износ y , мм	0.5	2.1	4.6	5.8	6.5	9.2	9.4	10.7	11.5	13.8	
Использованный ресурс t , сут.	6	40	70	100	150	180	230	280	300	330	
Максимальный износ I_{\max} , мм								15			

Вариант №9

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	60	71	55	103	39	94	110	140	88	99
Время восстановления τ , мин	60	45	90	60	70	60	50	50	65	70

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	68	67	150	29	35	95	57	148	51	29
Время восстановления τ , мин	75	100	50	40	35	105	75	80	80	55

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	0.1	0.3	0.6	1.5	3.5	6.0	9.8	10.7	14.1	15.3
Использованный ресурс t , сут.	1	5	9	15	20	25	30	34	38	40
Максимальный износ I_{\max} , мм								18		

Вариант №10

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T , сут.	9	49	68	14	12	69	26	20	55	83
Время восстановления τ , мин	30	10	50	10	15	10	15	10	25	20

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T , сут.	16	92	45	25	59	8	44	36	8	39
Время восстановления τ , мин	35	45	30	10	15	10	35	10	20	15

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	2.1	3.6	5.0	6.4	7.5	7.9	8.2	9.0	9.1	9.8
Использованный ресурс t , сут.	3	10	18	26	34	42	50	55	60	65
Максимальный износ I_{\max} , мм								10		

Вариант №11

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	52	26	11	39	25	22	57	25	54	34
Время восстановления τ , мин	40	10	10	30	15	40	20	20	50	20

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	12	20	55	49	12	27	37	17	36	28
Время восстановления τ , мин	15	20	10	10	25	35	15	45	20	25

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	5.1	7.7	8.0	9.4	10.5	10.7	11.2	11.5	11.7	12.6
Использованный ресурс t , сут.	6	12	18	24	32	40	48	56	60	76
Максимальный износ I_{\max} , мм								13		

Вариант №12

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T , сут.	72	125	41	119	90	91	83	41	92	79
Время восстановления τ , мин	10	15	25	70	25	20	30	50	55	10

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T , сут.	71	62	63	109	64	98	95	60	66	105
Время восстановления τ , мин	80	35	50	70	40	60	45	45	50	25

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	3.4	5.7	6.0	7.2	7.8	8.6	10.2	10.7	11.4	13.6
Использованный ресурс t , сут.	3	5	8	10	15	20	25	30	35	40
Максимальный износ I_{\max} , мм								15		

Вариант №13

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	12	45	34	62	31	22	34	28	30	57
Время восстановления τ , мин	50	25	15	40	25	20	60	25	55	35

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	10	40	41	14	39	34	20	17	45	25
Время восстановления τ , мин	15	20	45	50	15	30	35	20	35	30

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X_1	X_2	X_3	X_4
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	0.5	0.9	1.8	2.2	3.8	6.1	6.6	10.6	14.4	16.7
Использованный ресурс t , сут.	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Максимальный износ I_{\max} , мм								18		

Вариант №14

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	13	26	17	9	4	7	4	7	10	3
Время восстановления τ , мин	15	45	35	60	30	25	35	30	30	60

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	55	42	13	21	6	16	33	5	47	27
Время восстановления τ , мин	15	40	40	15	40	35	20	20	45	25

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y , мм	1.0	3.5	5.5	6.7	7.0	8.1	9.0	9.3	9.6	9.8
Использованный ресурс t , сут.	10	40	70	100	130	160	190	210	240	260
Максимальный износ I_{\max} , мм								11		

Вариант №15

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	4	36	29	27	11	23	12	33	4	14
Время восстановления τ , мин	75	50	60	90	60	40	65	90	75	40

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	20	21	7	8	12	24	11	10	12	18
Время восстановления τ , мин	50	60	75	85	50	80	45	40	55	45

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y, мм	3.3	5.4	5.6	6.7	7.2	8.2	8.5	9.2	9.8	9.9
Использованный ресурс t, сут.	20	30	50	70	95	120	150	165	180	200
Максимальный износ I_{\max} , мм								11		

Вариант №16

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	13	2	38	3	33	24	20	8	16	12
Время восстановления τ , мин	30	10	50	10	10	10	15	10	25	20

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	16	5	7	10	3	11	6	10	22	18
Время восстановления τ , мин	35	40	30	10	10	10	35	15	20	15

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y, мм	3.7	6.0	6.9	7.9	8.0	8.6	8.9	9.0	9.4	10.3
Использованный ресурс t, сут.	5	15	20	25	30	35	40	45	50	55
Максимальный износ I_{\max} , мм								11		

Вариант №17

Таблица 1 – Статистические данные о надежности подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Наработка T, сут.	25	19	32	24	9	17	65	24	25	53
Время восстановления τ , мин	15	10	40	10	30	25	20	10	15	15

Номер наблюдения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наработка T, сут.	20	29	32	43	17	28	26	39	26	53
Время восстановления τ , мин	10	10	25	15	25	40	35	15	20	25

Таблица 2 – Матрица значений показателей подшипников

Номер подшипника	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	-13,7	24,1	0,0012	0,665
2	-32,3	22,7	0,0005	0,373
3	-9,8	17,3	0,0012	0,925
4	-54,5	21,4	0,0003	0,213
5	-18,2	33,4	0,0013	0,723
6				

Таблица 3 – Матрица ранжирования показателей экспертами

Эксперт	Показатель			
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	1	4	3	2
2	2	3	4	1
3	1	2	3	4
4	1	3	4	2
5				

Таблица 4 – Результаты диагностирования подшипника

Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Износ y, мм	0.5	1.9	4.2	5.0	6.4	7.6	8.3	9.8	10.9	11.6
Использованный ресурс t, сут.	2	10	20	25	45	50	65	70	85	90
Максимальный износ I_{\max} , мм								12		

