

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Технология машиностроения»

НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Методические рекомендации к лабораторным работам
для студентов специальности 1-53 01 01*

*«Автоматизация технологических процессов и производств
(по направлениям)» дневной формы обучения*



Могилев 2018

УДК 621.9.06:004
ББК 34.63:32.81
Н 78

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Технология машиностроения» «10» октября 2017 г.,
протокол № 2

Составители: канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменков;
канд. техн. наук, доц. О. Е. Печковская;
ст. преподаватель В. В. Афаневич

Рецензент канд. техн. наук, доц. В. В. Кутузов

Даны задания к проведению лабораторных работ по дисциплине «Надежность и диагностика технических систем», приведены примеры оформления типовых отчетов.

Учебно-методическое издание

НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Ответственный за выпуск	В. М. Шеменков
Технический редактор	А. А. Подошевко
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 24.01.2014.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», 2018



Содержание

Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ	4
1 Лабораторная работа № 1. Исследование надежности изделия	6
1.1 Постановка задачи лабораторной работы.....	6
1.2 Теоретические сведения.....	6
2 Лабораторная работа № 2. Исследование надежности технологической системы	12
2.1 Общие сведения.....	12
2.2 Пример отчета по лабораторной работе.....	14
Список литературы	17



Инструкция по охране труда при проведении лабораторных работ

Общие требования безопасности

1 Допуск студентов к лабораторным занятиям производится только после инструктажа по технике безопасности, о чем делается соответствующая запись в специальном журнале. Получивший инструктаж подтверждает его проведение своей подписью.

2 При проведении лабораторных работ и лабораторного практикума необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

3 Студенты должны быть внимательными и дисциплинированными, точно выполнять указания преподавателя.

4 Пребывание студентов в лаборатории разрешается только в присутствии преподавателя.

Требования безопасности перед началом работы

1 Внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы или лабораторного практикума, а также безопасные приемы выполнения.

2 В случае неисправности станка и оборудования немедленно сообщить об этом преподавателю и до ее устранения к работе не приступать (работать на неисправных и на не имеющих необходимых защитных ограждений станках запрещается).

3 Перед каждым включением станка предварительно убедиться, что его пуск никому не угрожает опасностью.

Требования безопасности во время работы

1 Точно выполнять все указания преподавателя при проведении лабораторной работы, без его разрешения не производить самостоятельно никаких работ.

2 Не прикасаться к находящимся под напряжением элементам электрической цепи, к корпусам стационарного электрооборудования, не производить переключений в цепях до отключения источника тока.

3 Постоянно наблюдать за работой оборудования в процессе работы.

4 Запрещается во время работы оборудования снимать ограждения и предохранительные устройства, а также держать их открытыми. Во время работы не касаться руками вращающихся частей станка, деталей и инструмента, не вводить руки в зону движения детали и режущего инструмента.

5 Все подготовительные работы на оборудовании проводить в их обесточенном состоянии или в режиме «Наладка».

6 При обнаружении неисправности в работе электрических устройств, находящихся под напряжением, повышенном их нагревании, появлении искре-



ния, запаха горелой изоляции и т. д. немедленно отключить источник электропитания и сообщить об этом преподавателю.

Требования безопасности по окончании работы

- 1 Полностью выключить оборудование.
- 2 Привести в порядок рабочее место: убрать оборудование от окалины и грязи.
- 3 Предупредить преподавателя обо всех, даже малейших и незначительных, неисправностях оборудования.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

- 1 В случае травмирования кого-либо немедленно доложить преподавателю.
- 2 При выходе оборудования из строя (нет освещения, возгорание токопроводов, поломка механических деталей) необходимо:
 - отключить оборудование соответствующим тумблером (обесточить);
 - вынуть вилку из штепсельной розетки;
 - доложить преподавателю о случившемся, а в случае возгорания приступить к немедленной его ликвидации первичными средствами пожаротушения.



1 Лабораторная работа № 1. Исследование надежности изделия

Цель лабораторной работы: ознакомиться с методами оценки показателей надежности и приобрести навыки практических расчетов показателей по экспериментальным данным, освоить и применить программные средства в расчетах надежности.

Оборудование, инструменты и приборы

1 Объекты исследования – в качестве невосстанавливаемых элементов принимаем предохранители типа MF-R050 в количестве 100 шт. и в качестве восстанавливаемых – автоматические выключатели типа ВА 47-63 1п 1А в количестве 10 шт.

- 2 Автотрансформатор.
- 3 Амперметр.
- 4 Секундомер.

1.1 Постановка задачи лабораторной работы

По полученному набору исходных данных рассчитать на ПК с применением пакета Microsoft Excel следующие показатели надежности:

- для невосстанавливаемых элементов:
 - а) T_1 – среднюю наработку до отказа;
 - б) $P(t)$ – вероятность безотказной работы;
 - в) $\lambda(t)$ – интенсивность отказов;
 - г) $f(t)$ – плотность распределения времени исправной работы;
- для восстанавливаемых элементов:
 - а) $\omega(t)$ – параметр потока отказов;
 - б) T – среднюю наработку на отказ.

1.2 Теоретические сведения

Для элементов высокой надежности интенсивность отказов является величиной постоянной: $\lambda(t) = \lambda$.

В оценках надежности сложной системы основную роль играет интенсивность отказов ее элементов. Это обусловлено следующими обстоятельствами:

- надежность многих элементов можно охарактеризовать одним числом, поскольку интенсивность отказов не зависит от времени (наработки);
- по известной интенсивности отказов наиболее просто оценить остальные показатели надежности элементов и сложных систем;
- интенсивность отказов обладает хорошей наглядностью;
- значение интенсивности отказов нетрудно получить экспериментально.

Следует, однако, отметить, что плотностью распределения характеризуются случайные величины, к каковым относится наработка до отказа или на отказ.



Остальные показатели, в том числе и $\lambda(t)$, лишь в совокупности позволяют достаточно полно оценить надежность сложной системы.

Основной способ оценки показателей надежности сложных систем – обработка статистических данных об отказах элементов в процессе эксплуатации или экспериментальных данных, полученных в испытаниях на надежность.

В процессе эксплуатации системы или при испытаниях в лабораторных условиях фиксируют время (или наработку) наступления отказа. По этим данным путем статистической обработки и определяют показатели надежности элементов.

Показатели надежности невосстанавливаемого элемента могут быть вычислены, если известен закон распределения наработки до отказа в виде плотности распределения вероятности $f(t)$. Если элемент ремонтпригоден, то его показатели надежности оценивают при известном законе распределения времени безотказной работы. Поэтому умение находить $f(t)$ по экспериментальным результатам – важное условие грамотной и правильной оценки надежности элементов и системы в целом.

Рассмотрим три различных способа регистрации отказов элементов.

1 Элементы, поставленные на испытания, невосстанавливаемые. При возникновении отказа некоторого элемента фиксируют момент времени его отказа. В результате испытаний статистической информацией является последовательность $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N$ (при плане типа $[NUN]$) моментов времени отказов элементов.

2 Элементы, поставленные на испытания, восстанавливаемые. После отказа какого-либо элемента его заменяют новым. В результате испытаний исходной статистической информацией является последовательность моментов времени отказов i -го элемента (n_i – число отказов i -го элемента за время испытаний T) $t_{i,j}$ ($j = 1, 2, \dots, n_i; i = 1, 2, \dots, N$). Реализациями наработок элемента в этом случае служат разности $\tau_{i,j} = t_{i,j} - t_{i,j-1}$ (предполагается, что не отказавших элементов нет, $t_{i,0} = 0$).

Второй способ регистрации отказов, очевидно, сводится к первому, если фиксируются номера отказавших элементов. В качестве статистических данных берется совокупность разностей $\tau_{i,j}$, представляющих собой время работы элементов до первого отказа.

3 Элементы, поставленные на испытания, восстанавливаемые. После отказа какого-либо элемента его заменяют новым, однако не известен номер отказавшего элемента. В результате испытаний исходной статистической информацией является последовательность $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_r$ моментов отказов элементов, где r – число отказавших элементов (планы типа $[NR(r, T)]$). Таким образом, в отличие от второго способа, здесь регистрируются моменты отказов элементов без указания их номеров.

Рассмотрим статистические определения (оценки) показателей надежности элемента. Соответствующую оценку показателя надежности будем обозначать со знаком над символом показателя (\hat{a}).

Исходными статистическими данными невосстанавливаемых элементов являются значения наработки элементов до отказа $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N$. В этом слу-

чае средняя наработка до отказа равна среднему арифметическому времени t_i :

$$\hat{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i, \quad (1.1)$$

где N – общее число элементов, участвующих в испытаниях.

Обозначим через $r(t)$ число элементов, для которых отказ произошел не позднее момента времени t . Тогда вероятность отказа элемента может быть оценена как $\hat{Q}(t) = r(t)/N$, а вероятность безотказной работы как $\hat{P}(t) = 1 - \hat{Q}(t)$.

По зафиксированным наработкам до отказа элементов строится вариационный ряд (в порядке возрастания): $t_{(1)}, t_{(2)}, \dots, t_{(i)}, \dots, t_{(N)}$. Функция $\hat{Q}(t)$ представляет собой эмпирическую функцию распределения, и если все $t_{(i)}$ различны, то:

$$\hat{Q}(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < t_{(1)}; \\ i/N & \text{при } t_{(i)} \leq t \leq t_{(i+1)}; \\ 1 & \text{при } t \geq t_{(N)}. \end{cases} \quad (1.2)$$

Наглядный и удобный способ представления экспериментальных данных – гистограмма. Область значений $[t_{(1)}; t_{(N)}]$ разбивается на равные интервалы $\Delta_i, i = 1, 2, \dots, k$ длиной $h = R/k$, где $R = t_{(N)} - t_{(1)}$, и называется размахом выборки. Гистограмма представляет собой примыкающие друг к другу прямоугольники, основанием которых являются указанные интервалы, а высоты равны плотностям относительных частот N_i/Nh , где N_i – число выборочных значений, попавших в данный интервал (рисунок 1.1). Гистограмма есть статистическая плотность распределения времени работы до отказа.

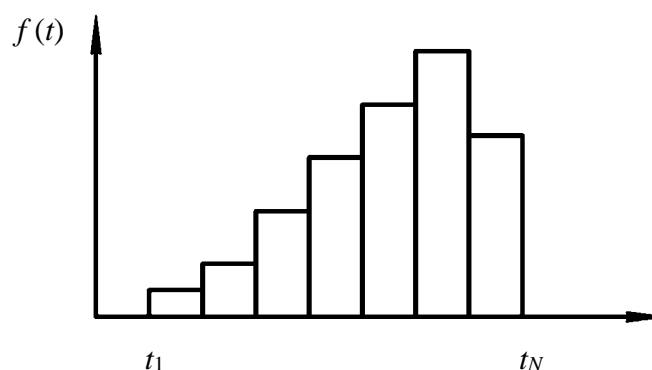


Рисунок 1.1 – Гистограмма статистической плотности распределения

Для оценки плотности иногда используют также полигон относительных частот, который представляет собой ломаную линию, построенную по точкам, абсциссы которых – середины интервалов $\Delta_i, i = 1, 2, \dots, k$, а ординаты соответствуют плотностям N_i/Nh .

Интенсивность отказа элемента рассчитывается как отношение плотности



распределения к вероятности безотказной работы.

Исходными статистическими данными восстанавливаемых элементов являются моменты времени отказов элементов $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_r$, где r – число отказавших элементов. Информация об отказах элементов может быть представлена в виде таблицы. Весь период испытаний разбивают на интервалы времени определенной длины и подсчитывают количество отказавших элементов на каждом интервале.

Оценку параметра потока отказов рассчитывают по формуле

$$\hat{\omega}(t) = \frac{\Delta n_i}{N \Delta t_i}, \quad (1.3)$$

где Δt_i – интервал времени, на котором было зафиксировано точно Δn_i отказов элементов, $i = 1, 2, \dots, k$; для всех t , принадлежащих интервалу Δt_i , справедливо неравенство $\Delta t_1 + \dots + \Delta t_{i-1} < t \leq \Delta t_1 + \dots + \Delta t_{i-1} + \Delta t_i$.

Выявление закона выборочного распределения. Вид функции распределения оцениваемого показателя надежности часто заранее не известен. Аппроксимирующее распределение для выборочной совокупности случайной величины выбирают либо по виду статистического распределения, либо с применением вероятностных координатных сеток.

Статистическая гипотеза – это предположение о виде функции распределения случайной величины.

При анализе экспериментальных данных обычно строят гистограмму плотности распределения полученных значений, разбиваемых на несколько интервалов. Обычно число интервалов $5 \leq m \leq 20$. Чаще всего диапазон значений измеренной величины разбивают на равномерные интервалы. Существуют различные рекомендации по выбору числа интервалов для построения гистограммы распределения n случайных значений. В частности, при малой статистике рекомендуется примерное число интервалов определять по соотношению $m \approx n^{0,4}$. Построенные гистограммы затем аппроксимируют непрерывной функцией, которая и определяет вид распределения случайной величины.

Статистические оценки характеристик распределения находят как для дискретной случайной величины, значения которой равны средним в интервалах разбиения гистограммы.

Проверка статистических гипотез проводится с помощью *критериев согласия*. Наиболее часто применяют следующие критерии.

Критерий Стьюдента t служит для сравнения среднего арифметического случайной величины с математическим ожиданием распределения:

$$t = \frac{|\bar{x} - M(x)|}{\sigma_x}. \quad (1.4)$$

Вычисленное значение критерия сравнивают с табличным при числе степеней свободы $n - 1$ и заданной доверительной вероятности. Если табличное (критическое) значение больше или равно вычисленному, то гипотезу о законе

распределения принимают.

Критерий Пирсона определяет отклонение истинного распределения от предложенного и позволяет проверить соответствие экспериментальных данных предполагаемой функции. Расчетное значение критерия

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (1.5)$$

где p_i – расчетная вероятность попадания случайной величины в i -й интервал разбиения; сравнивают с табличным для числа степеней свободы $k = m - 1$ и заданной доверительной вероятности или уровня значимости.

Гипотезу о функции распределения принимают, если вычисленный критерий меньше табличного.

Критерий Колмогорова позволяет оценить допустимость максимального отклонения расчетной функции распределения $F(x)$ от экспериментальных значений $\hat{F}(x)$:

$$D = \max | \hat{F}(x_i) - F(x_i) | \quad \text{при } 1 \leq i \leq n. \quad (1.6)$$

Расчетное значение критерия сравнивают с табличным для числа n и заданного уровня значимости. Гипотезу принимают, если расчетное значение критерия меньше табличного.

Порядок выполнения расчетов

- 1 Включить ПК, войти в пакет Microsoft Excel.
- 2 В меню «Файл» на панели инструментов выбрать команду «Создать».
- 3 Ввести в таблицу первый набор исходных данных (гамма-распределение наработок до отказов), которому соответствуют невосстанавливаемые элементы ($N = 100$), работающие до первого отказа. Время до отказа (наработка) каждого невосстанавливаемого элемента соответствует одной ячейке электронной таблицы и выражается в часах.
- 4 Ввести количество элементов, находящихся на испытании.
- 5 Определить среднее время работы элемента до отказа. Для этого воспользоваться стандартной функцией СРЗНАЧ (для указанного закона распределения).
- 6 Определить число элементов, для которых отказ произошел не позднее момента времени t . Для этого воспользоваться стандартной функцией СЧЕТЕСЛИ.
- 7 Определить вероятность отказа элемента. Для этого воспользоваться формулой для вычисления вероятности отказа элемента.
- 8 Определить вероятность безотказной работы. Для этого воспользоваться формулой для вычисления вероятности безотказной работы.
- 9 Определить интенсивность отказов за время испытаний t , полагая, что она постоянна во времени: $\lambda(t) = \lambda$. Для этого воспользоваться зависимостями



между показателями надежности.

10 Определить плотность распределения наработки до отказа. Для этого воспользоваться зависимостями между показателями.

11 Ввести второй набор исходных данных (равномерное распределение наработок на отказ). Этому набору данных соответствует работа восстанавливаемых или ремонтируемых элементов.

12 Составить таблицу отказов элементов. Для этого разбить интервал, равный времени испытаний (в данном случае это 700 ч), на 14 равных частей длительностью по 50 ч каждая.

13 Ввести определенный (условный) интервал времени.

14 Посчитать количество отказавших элементов на каждом интервале Δt_i . Для этого воспользоваться стандартной функцией СЧЕТЕСЛИ.

15 Результат занести в электронную таблицу.

16 Ввести общее число элементов, участвующих в испытаниях.

17 Определить параметр потока отказов элемента ω_i . Для этого воспользоваться зависимостью количества фиксированных отказов Δn_i от интервала времени Δt_i , в который этот отказ произошел: $\omega_i = \Delta n_i / (N \Delta t)$.

18 Зная поток отказов на каждом интервале, найти среднее значение потока отказов за время испытаний (в данном случае за 700 ч). Для этого воспользоваться стандартной функцией СРЗНАЧ.

19 Определить время между отказами для каждого отдельного элемента. Для этого воспользоваться функцией ВЫЧИТАНИЯ.

20 Определить среднюю наработку на отказ по массиву данных. Для этого воспользоваться стандартной функцией.

Содержание отчета по лабораторной работе

Отчет о лабораторной работе должен быть оформлен студентом индивидуально при подготовке к защите. Он должен содержать название и номер лабораторной работы, постановку задачи, исходные данные (таблицы с наборами исходных данных), порядок расчетов, результаты расчетов показателей надежности, а также результаты проверки законов распределения экспериментальных данных.

Контрольные вопросы

1 Суть метода определения показателей надежности по экспериментальным данным.

2 Порядок статистической обработки результатов испытаний.

3 Определение закона выборочного распределения.

4 Критерии проверки статистических гипотез.

5 Последовательность расчетов с применением пакета Microsoft Excel.



2 Лабораторная работа № 2. Исследование надежности технологической системы

Цель лабораторной работы: ознакомиться с методами оценки показателей надежности технологической системы и приобрести навыки практических расчетов показателей по экспериментальным данным, освоить и применить программные средства в расчетах надежности.

Оборудование, инструменты и приборы

- 1 Объекты исследования – станции стекового накопителя, станции манипулятора или конвейерной станции системы MecLab®.
- 2 Компрессорная станция.
- 3 Набор слесарного инструмента для сборки станции.

2.1 Общие сведения

Под надежностью понимается способность технологической системы в течение заданного промежутка времени сохранять свою работоспособность в процессе эксплуатации и выдерживать заданные параметры технологического процесса. Однако в работе технологических систем случаются отказы.

Отказ – это такое событие, при котором система не может выполнять работу. Обычно различают два вида отказов: функциональные и параметрические.

Функциональный отказ – это отказ, при котором система в принципе не может продолжать работу. Причинами таких отказов могут быть поломки инструментов, нарушения контактов в электросети, отсутствие рабочей жидкости в гидроприводах и т. п.

Параметрический отказ – это отказ, при котором система продолжает работать, но параметры технологического процесса не выдерживаются, например, не обеспечивается необходимая точность и шероховатость обрабатываемых деталей. Причинами таких отказов могут быть износ инструментов, нарушения наладки инструментов и т. п.

Важнейшим показателем надежности является вероятность безотказной работы, вероятность того, что система сохраняет работоспособность в течение определенного времени. Функциональная зависимость вероятности безотказной работы (вероятности отсутствия отказов) от проработанного времени называется функцией надежности $p(t)$.

Эта функция может принимать любые значения между нулем и единицей: $1 \geq p(t) \geq 0$. Из этого следует, что любая автоматическая система в момент включения предполагается исправной и при бесконечно малой длительности работы системы ее работоспособность будет сохранена, т. е. $p(0) = 1$ при $t \rightarrow 0$. С другой стороны, нельзя предположить, что система после включения будет работать в течение бесконечно большого интервала времени без единого отказа. Следовательно, при $t \rightarrow \infty$ $p(t) = 0$. Между крайними значениями функция надежности имеет монотонно убывающий характер. В общем случае надеж-



ность, т. е. вероятность безотказной работы системы, может быть описана экспонентой вида

$$p(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.1)$$

где λ – интенсивность отказов;

e – основание натуральных логарифмов.

Интенсивность отказов определяет количество отказов в единицу времени.

Если интенсивность отказов для исследуемой автоматической системы является величиной постоянной ($\lambda = \text{const}$), то можно определить среднее время ее безотказной работы по формуле

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}. \quad (2.2)$$

Интенсивность отказов может быть определена при длительных наблюдениях за работой автоматической системы.

Всякая автоматическая система повторяет во времени свой рабочий цикл многократно. Учитывая, что цикл работы автоматической системы является величиной постоянной ($t_{ц} = \text{const}$), в расчетах показателей надежности время можно заменить количеством циклов, отработанных системой за это время. Тогда, например, средняя интенсивность отказов $\lambda = 1/500$ означает, что через каждые 500 циклов работы системы появляется вероятность ее отказа. Чем выше интенсивность отказов, тем менее вероятно, что автоматическая система проработает без отказа, и наоборот.

Коэффициент надежности автоматической системы K_n есть среднее количество рабочих циклов между двумя отказами:

$$K_n = \frac{T_{cp}}{t_{ц}}. \quad (2.3)$$

Иногда коэффициент надежности называют наработкой на отказ.

Порядок выполнения работы

По результатам наблюдений за работой одного из технологических комплексов (станции стекового накопителя, станции манипулятора или конвейерной станции системы MecLab[®]) необходимо:

- рассчитать коэффициент надежности технологического комплекса;
- построить экспериментальную кривую надежности технологического комплекса;
- рассчитать вероятность безотказной работы технологического комплекса для всех интервалов кривой надежности технологического комплекса;



– по полученным значениям вероятностей построить теоретический график надежности.

2.2 Пример отчета по лабораторной работе

Наблюдения за работой технологического комплекса выявили следующую последовательность выполненных автоматических циклов и отказов в его работе: – 416 – 190 – 24 – 308 – 80 – 140 – 33 – 272 – 50 – 386 – 47 – 464 – 68 – 154 – 560 – 76 – 371 – 244 – 480 – 106 – 350 – 96 – 224 –. В такой записи знак «–» означает останов комплекса, числа – количество циклов между остановами.

По полученным результатам наблюдений необходимо:

- построить экспериментальную кривую надежности технологического комплекса;
- рассчитать коэффициент надежности технологического комплекса;
- рассчитать вероятность безотказной работы технологического комплекса для всех интервалов кривой надежности, построить теоретическую кривую.

Результаты. Принимаем максимальное число циклов бесперебойной работы $t_{\max} = 600$. Во внимание принято максимальное число циклов из приведенного ряда 560. Принимаем размер одного интервала 100 циклов.

Составляем таблицу распределения работы технологического комплекса (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Распределение циклов работы технологического комплекса

Номер интервала	1	2	3	4	5	6
Границы интервала	1...100	101...200	201...300	301...400	401...500	501...600
Число циклов, попавших в интервал m_i	8	4	3	4	3	1
Середина интервала t_{icp}	50,5	150,5	250,5	350,5	450,5	550,5

Таблица 2.1 составлена следующим образом.

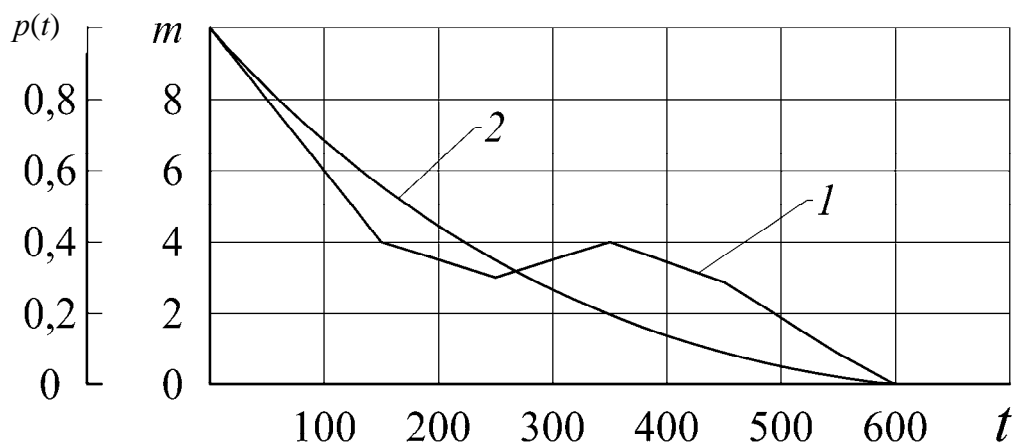
В интервале № 1 записаны все случаи, когда технологический комплекс отработал от 1 до 100 циклов (24, 80, 33, 50, 47, 68, 76, 86). Всего восемь случаев ($m_1 = 8$).

В интервал № 2 записаны все случаи, когда технологический комплекс отработал от 101 до 200 циклов (190, 140, 154, 106). Всего четыре случая ($m_2 = 4$).

В интервал № 3 записаны все случаи, когда технологический комплекс отработал от 201 до 300 циклов (272, 244, 224). Всего три случая ($m_3 = 3$).

Таким образом была заполнена вся таблица. Для построения графиков надежности на горизонтальной оси откладываем все интервалы циклов t_o , на вертикальной оси – число циклов m_i , попавших в данный интервал. Соединив середины интервалов прямыми, получим экспериментальную кривую 1 (ломаная линия) надежности технологического комплекса (рисунок 2.1).





1 – экспериментальная зависимость; 2 – теоретическая зависимость

Рисунок 1 – Зависимость надежности технологического комплекса от числа отработанных циклов

$$K_n = \frac{\sum m_i \cdot t_{icp}}{\sum m_i},$$

где m_i – число случаев работы технологического комплекса с количеством выполненных циклов, попавшим в i -й интервал;

t_{icp} – значение середины i -го интервала.

$$K_n = \frac{8 \cdot 50,5 + 4 \cdot 150,5 + 3 \cdot 250,5 + 4 \cdot 350,5 + 3 \cdot 450,5 + 1 \cdot 550,5}{8 + 4 + 3 + 4 + 3 + 1} = 220.$$

Расчет вероятностей безотказной работы технологического комплекса для всех интервалов производим по формуле

$$p(t_i) = \frac{N - \sum m_i}{N},$$

где N – общее число случаев безотказной работы технологического комплекса за все время наблюдений.

$$N = 8 + 4 + 3 + 4 + 3 + 1 = 23.$$

Вероятность того, что технологический комплекс безотказно отработает 0 циклов:

$$p(0) = \frac{23 - 0}{23} = 1.$$



Вероятность того, что технологический комплекс безотказно отработает 100 циклов:

$$p(100) = \frac{23-8}{23} = 0,65.$$

Вероятность того, что технологический комплекс безотказно отработает 200 циклов:

$$p(200) = \frac{23-(8+4)}{23} = 0,478.$$

Вероятность того, что технологический комплекс безотказно отработает 300 циклов:

$$p(300) = \frac{23-(8+4+3)}{23} = 0,347.$$

Вероятность того, что технологический комплекс безотказно отработает 400 циклов:

$$p(400) = \frac{23-(8+4+3+4)}{23} = 0,174.$$

Вероятность того, что технологический комплекс безотказно отработает 500 циклов:

$$p(500) = \frac{23-(8+4+3+4+3)}{23} = 0,043.$$

Вероятность того, что технологический комплекс безотказно отработает 600 циклов:

$$p(600) = \frac{23-(8+4+3+4+3+1)}{23} = 0.$$

По полученным значениям вероятностей строим теоретический график (кривая 2) надежности технологического комплекса (см. рисунок 2.1).

Контрольные вопросы

- 1 Что показывает коэффициент надежности технологического комплекса?
- 2 Что показывает такой параметр, как вероятность безотказной работы технологического комплекса?



3 Что дает знание параметра интенсивности отказов технологической системы?

Список литературы

1 **Дружинин, Г. В.** Надежность автоматизированных производственных систем / Г. В. Дружинин. – Москва : Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.

2 **Шишмарев, В. Ю.** Надежность технических систем : учебник / В. Ю. Шишмарев. – Москва : Академия, 2010. – 304 с.

3 Обеспечение надёжности сложных технических систем : учебник / А. Н. Дорохов [и др.]. – Санкт-Петербург : Лань, 2011. – 352 с. : ил.

