

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 13.11.2024 11:08:16

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОВЕРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования**

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



МОДЕЛИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТАНКА

Методические указания к практическим и лабораторным занятиям
студентов направления подготовки 15.04.05
и аспирантов направления подготовки 15.06.01

КУРСК 2016

УДК 621.9.06

Составитель: Е.И.Яцун

Рецензент

Доктор технических наук, профессор *В.И.Колмыков*

Модели параметрических отказов и оценка надежности станка: методические указания к практическим и лабораторным занятиям студентов направления подготовки 15.04.05 и аспирантов направления подготовки 15.06.01 / Юго-Зап. гос. ун-т ; сост. Е. И. Яцун. - Курск: ЮЗГУ, 2016. - 24 с.

Изучается программный метод испытаний металлорежущих станков, входные и выходные параметры, влияющие на точность обработки со стороны станка как компонента технологической системы. В качестве выходных параметров рассматриваются параметры траекторий формообразующих узлов станка. Дается прогноз параметрической надежности станка.

Предназначены для студентов направления 15.04.05 и аспирантов направления подготовки 15.06.01, очная, заочная и дистанционная формы обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать _____ 20__ г. 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	4
1 ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СТАНКА	5
1.1 Безотказность систем с общим и отдельным резервированием	5
1.2 Определение изменения траекторий опорных точек суппорта в функции времени	6
1.3 Расчет изменения параметров опорных точек	7
2 МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СУММАРНОЙ ТРАЕКТОРИИ	10
2.1 Модели параметрических отказов	10
2.2 Математическое описание модели	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	14
ПРИЛОЖЕНИЕ	15
ЗАДАНИЕ	15
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	17

ВВЕДЕНИЕ

Надежность и долговечность – это те свойства, которые характеризуют работу системы во времени, то есть определяют степень и характер изменений, происходящих у характеристик системы в результате ее эксплуатации. При этом следует учитывать все этапы эксплуатации, включая простои, ремонты, переналадку, хранение, транспортирование, испытания и установку. Определение надежности и долговечности любого изделия базируется на понятии его работоспособности.

Работоспособность – это состояние изделия, при котором оно способно выполнять заданные функции с параметрами установленными требованиями технической документации (стандарты, ТУ, нормативы). ТУ предусматривает уровень внешних воздействий и методы техобслуживания и ремонта, нормы и допустимые отклонения от параметров. Для станков это – точность обработки и параметры шероховатости, производительность, затраты времени и средств на переналадку и ремонт, КПД и т.д..

Надежность – это свойства изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени. Надежность – обобщенный показатель, включающий в себя безотказность, долговечность машины. Понятие надежности относится к машине в целом или к ее узлам и деталям.

Срок службы – это календарная продолжительность эксплуатации изделия или детали, а наработка – продолжительность работы изделия в часах или единицах, характеризующих длительность работы изделия (объем работы, километры пробега, число циклов).

Отказ – это такое событие, которое заключается в нарушении работоспособности машины или ее элемента. Признаки (критерии) отказов рекомендуется оговаривать в техдокументации на изделие данного типа.

Например, поломка пружины суппорта, повышение температуры подшипников, падение точности обработки ниже нормы из-за износа

направляющих являются отказом станка.

1 ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СТАНКА

Для прогнозирования параметрической надежности станка надо знать вероятностные характеристики областей состояний в функции времени.

При числе испытаний, равном $n=1, \dots, N$, получают данные для построения закона распределения параметра $X - f(X)$ при $t=0$ и определяют

X_1 – максимальное значение выходного параметра;

X_{1cp} – математическое ожидание и σ_1 – дисперсию, затем рассчитывают те же значения для периода времени t_1, t_2, \dots, t_k .

Эти данные позволяют дать вероятностные характеристики областей состояний для любого периода времени t .

1.1 Безотказность систем с общим и отдельным резервированием

Рассматривая систему, состоящую из n последовательно соединенных элементов, можно предположить два варианта их резервирования:

- общее резервирование, когда при выходе из строя любого элемента включается резервная цепь, которая полностью заменяет данную. Имеется $(m-1)$ резервных цепей.

Если P_i вероятность безотказной работы одного элемента P_j всей цепи, то безотказность системы P_o будет:

$$P_o = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - P_j) = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - \prod_{i=1}^n P_i), \quad (1.1)$$

При одинаковых элементах ($P_i = P_1$) формула (1) примет вид:

$$P_o = 1 - (1 - P_1^n)^m .$$

- Раздельное резервирование, при котором имеется возможность включать резервный элемент при выходе из строя любого элемента. В этом случае вероятность безотказной работы системы вычисляется по формуле:

$$P_p = \prod_{j=1}^n \left[1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i) \right].$$

При одинаковых элементах:

$$P_p = \left[1 - (1 - P_1)^m \right]^n.$$

На практике часто применяют комбинированные системы резервирования с общим резервированием отдельных цепей и отдельным резервированием наиболее ненадежных и ответственных элементов.

Для оценки качества станка необходимо иметь информацию о возможных изменениях параметров траекторий формообразующих узлов станка при *изнашивании* сопряженных деталей, *о скорости изнашивания* сопряженных деталей и форме изношенной поверхности.

1.2 Определение изменения траекторий опорных точек суппорта в функции времени

Изменение начальных параметров станка с течением времени связано с *медленно протекающими процессами*, в первую очередь, с износом базовых элементов станка. Основные виды износа: абразивный износ, пластическая деформация, усталость.

На точность станка непосредственное влияние оказывает износ направляющих столов, суппортов, ползунов, шпиндельных подшипников, передач ходовой винт-гайка, а также механизмов, участвующих в формировании выходных параметров точности (поворотных-фиксирующих, кулачковых, зажимных и др.)

При прогнозировании изменения параметров станка в процессе изнашивания опираются на физику процесса изнашивания: учитывают смазку и условия трения сопряженных поверхностей, включают фактор времени.

В станке для большинства сопряжений применяется следующая закономерность для расчета линейного износа материалов:

$$U = k \cdot p^m \cdot v \cdot t$$

или

$$\gamma = u/t = k \cdot p^m \cdot v, \quad (2.1)$$

где U - линейный износ, мкм; γ - скорость изнашивания, мкм/год; k - коэффициент износа; p - давление на поверхности трения; v - скорость относительного скольжения; t - время работы сопряжения; m - коэффициент, $m-1$ для абразивного и усталостного износа.

Коэффициент износа является случайной величиной и изменяется в широких пределах, поэтому скорость изнашивания можно определить лишь ориентировочно.

1.3 Расчет изменения параметров опорных точек

Принятые выходные параметры станка зависят от характеристик траекторий опорных точек формообразующих узлов станка. Нужно оценить изменение этих траекторий при изнашивании направляющих.

Рассмотрим влияние износа направляющих станины токарного станка на точность перемещения суппорта.

Передняя направляющая суппорта (треугольная призма) несет основную нагрузку, так как на нее действует сила резания. При износе направляющих резец изменяет свое положение, и точность обработки уменьшается. При этом именно *неравномерность износа* направляющих оказывает влияние на *точность траектории* суппорта, так как *равномерный износ компенсируется* за счет начальной установки резца.

Рассмотрим схему для определения ординат опорных точек направляющих скольжения с течением времени (Рис.1.1):

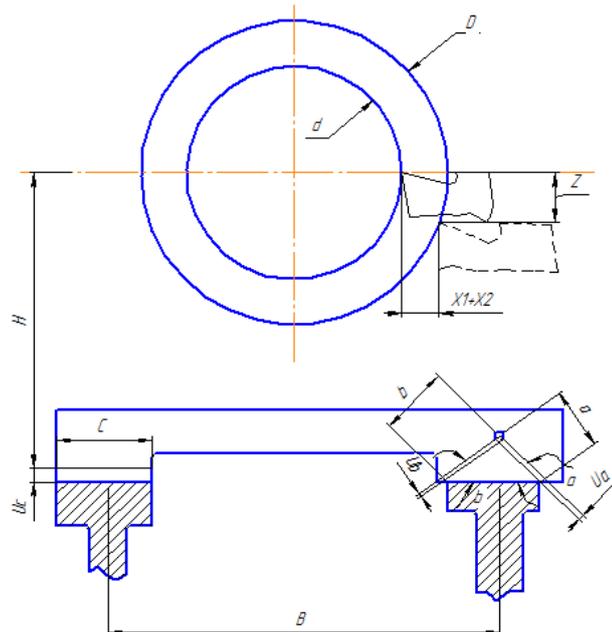


Рисунок 1.1. Влияние износа направляющих токарного станка на искажение траектории суппорта

Изменение в результате износа траекторий опорных точек формообразующих узлов приводит к изменению выходных параметров станка, которые определяют его качество с позиций точности (Рис.1.2).

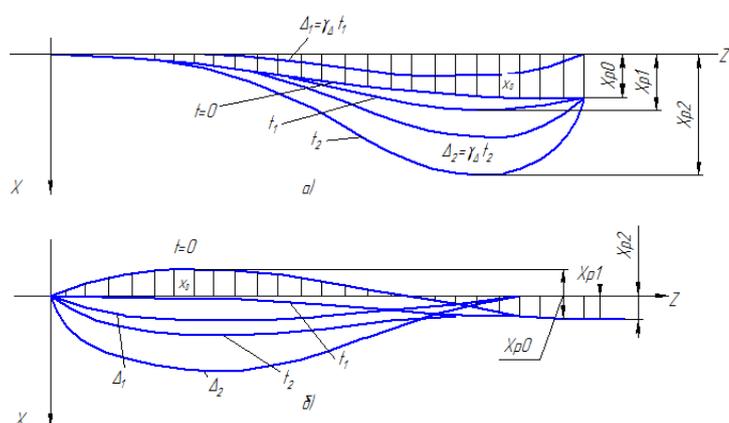


Рисунок 1.2. Схема формирования траектории и ее выходных параметров при изнашивании направляющих

Горизонтальное смещение суппорта X'_1 возникает в силу восприятия передней направляющей усилия резания

$$X'_1 = u_b \cdot \sin \beta - u_a \cdot \sin a.$$

Износ, задней направляющей приведет к повороту суппорта, в результате резец отойдет на величину X'_2

$$X'_2 = (Z - u_c) \cdot \frac{H}{B}.$$

Изменение радиуса обрабатываемой детали Δ

$$\Delta = X'_1 + X'_2. \quad (1.2)$$

Подставляя в формулу (2.2) значения X_1 и X_2 и произведя преобразования, получим:

$$\Delta = u_a \cdot \left(\frac{H}{B} \cdot \cos a - \sin a \right) + u_b \cdot \left(\frac{H}{B} \cdot \cos b + \sin b \right) - u_c \frac{H}{B}.$$

Например, при $a = 25^\circ$; $\beta = 65^\circ$ и $H/B = 0,6$ получим

$$\Delta = 0,12u_a + 1,16u_b - 0,6u_c.$$

Чтобы определить изменение ординат опорных точек направляющих скольжения Δc течением времени, воспользуемся формулой (2.1):

$$\gamma_\Delta = \Delta/t, \frac{\text{мкм}}{\text{год}},$$

где γ_Δ - скорость изменения ординат траекторий.

Расчет новых значений выходных параметров станка и оценка вероятности их изменений позволит осуществить **прогноз параметрической надежности станка**, оценить его **ресурс по точности**.

Для такого прогноза необходимо:

1. Получить на испытательно-диагностическом стенде значения ординат траекторий каждой опорной точки (опорные или фиксированные точки располагаются на установочных базах станка, определяющих взаимное положение заготовки, приспособления или инструмента).
2. Определить изменение этих траекторий в функции времени, которые могут произойти при изнашивании базовых поверхностей (направляющих, опор подшипников и т.п.).

3. На основании этих данных получить ординаты траекторий, которые будут характеризовать движение опорной точки в любой заданный промежуток времени работы станка.

2 МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ СУММАРНОЙ ТРАЕКТОРИИ

При небольших значениях износа суммарная траектория опорной точки может быть определена как алгебраическая сумма начальной ординаты X_0 и ординат Δ , характеризующих ее изменение при износе направляющих:

$$X = X_0 + \Delta = X_0 + \gamma_{\Delta} t,$$

где X – ордината траектории с учетом износа;

γ_{Δ} - скорость изменения приращения ординат;

t – время.

Рассмотрим два типичных случая формирования траектории опорной точки суппорта при его движении по изношенным направляющим, то есть две модели параметрических отказов.

2.1 Модели параметрических отказов

Отказ любого элемента отражается на работе машины в целом.

Если известна вероятность безотказной работы элементов $P_i(t)$ можно просчитать вероятность безотказной работы сложной системы.

Наиболее характерно, когда отказ одного элемента выводит из строя всю систему, как это имеет место при последовательном соединении элементов. Большинство машин и механизмов подчиняются этому условию. Если, например, в приводе машины выйдет из строя любая шестерня или другая деталь - весь привод перестанет работать. Вероятность безотказной работы такой системы равна произведению вероятностной безотказной работы элементов по теореме умножения вероятностей независимых событий:

$$P(t) = P_1 P_2 \cdot \dots \cdot P_n, (3.1)$$

При одинаковой надежности элементов формула (3.1) приобретает вид:

$$P(t) = P_i^n, (3.2)$$

Сложные системы, состоящие из элементов высокой надежности, могут обладать низкой надежностью за счет наличия большого числа элементов.

Например, если узел состоит из 50 деталей, а вероятность безотказной работы каждой детали за выбранный промежуток времени составляет $P(t) = 0.99$, то вероятность безотказной работы узла будет:

$$P(t) = (0.99)^{50} \approx 0,6$$

Если причина выхода из строя деталей связана только с внезапными отказами, то:

$$P_1 = e^{-\lambda_1 t}; P_2 = e^{-\lambda_2 t}; \dots; P_n = e^{-\lambda_n t}$$

Сделав подстановку в формулу (3.1) получим:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)t} = e^{-\lambda_0 t}, (3.3)$$

Таким образом, вероятность безотказной работы сложной системы в этом случае также подчиняется экспоненциальному закону с параметром

$$\lambda_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Модели параметрических отказов – два случая:

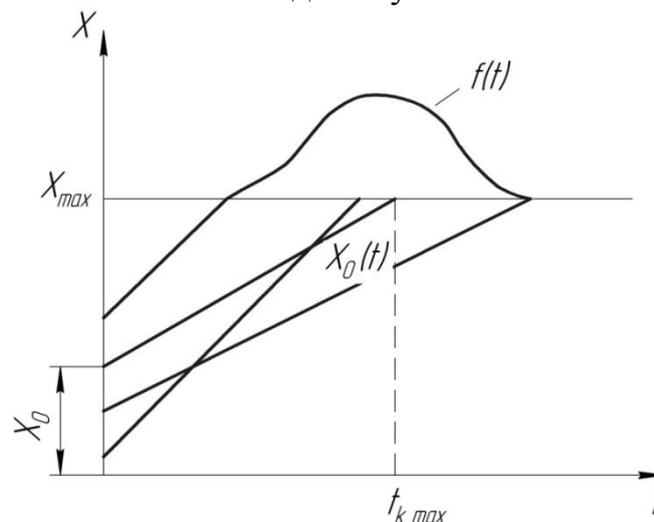


Рисунок 2.1. Изменение выходного параметра линейно во времени

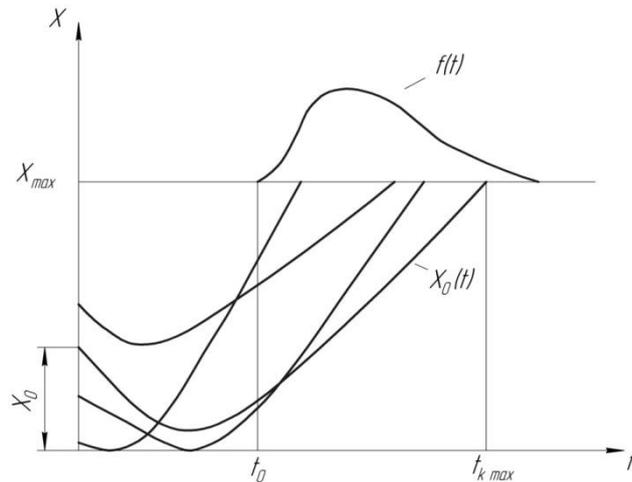


Рисунок 2.2. Нелинейное изменение выходного параметра во времени

2-й случай встречается чаще на практике, так как допуск на отклонение формы новых направляющих всегда дается в сторону выпуклости.

2.2 Математическое описание модели

1. Рассеяние данного выходного параметра X станка подчиняется закону нормального распределения с характеристиками области состояний

$a_0 = X_{1\text{cp}}$ – математическое ожидание;

$\sigma_a = \sigma_1$ – среднеквадратическое отклонение.

2. Изменение выходных параметров во времени подчиняется линейному закону:

$$X = \gamma_x t,$$

где γ_x – скорость изменения параметра ($\gamma_x = \text{const}$ для данного сочетания внешних факторов).

3. Рассеяние скоростей изменения параметров подчиняется нормальному закону распределения с характеристиками:

$\gamma_{x\ \text{cp}}$ – математическое ожидание;

σ_x – среднеквадратическое отклонение;

γ_x – случайная величина, и на ее рассеяние действуют различные факторы: нагрузка, скорость, смазка и ее загрязненность и т.д.

4. Изменение выходных параметров станка при износе через промежуток времени t , характеризующие закон нормального распределения:

$\gamma_x t$ – математическое ожидание;

$\sigma_x t$ – среднеквадратическое отклонение.

5. Выход области состояний за пределы области работоспособности (X_{\max}) приведет к параметрическому отказу.

Как известно, вероятность отказа $F(t)$ численно равна площади кривой $f(X)$, находящейся за пределами X_{\max} , а вероятность безотказной работы $P(t)$ численно равна площади кривой $f(X)$, находящейся в области работоспособности. Эту площадь определим, пользуясь функцией Лапласа Φ :

$$P(t) = 0,5 + \Phi_H \left[\frac{X_{\max} - a_0 - \gamma_{xcp} \cdot t}{\sqrt{\sigma_a^2 + (\sigma_x \cdot t)^2}} \right], \quad (3.1)$$

где $0 \leq \Phi \leq 0,5$.

Вероятность отказа $F(T) = 1 - P(t)$.

6. Формула (3.1) позволяет определить вероятность безотказной работы для каждого выходного параметра. Вероятность безотказной работы всего станка определим следующим образом:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t) \dots P_k(t).$$

7. Задаваясь рядом значений t , можно построить зависимость $P(t)$ в функции времени:

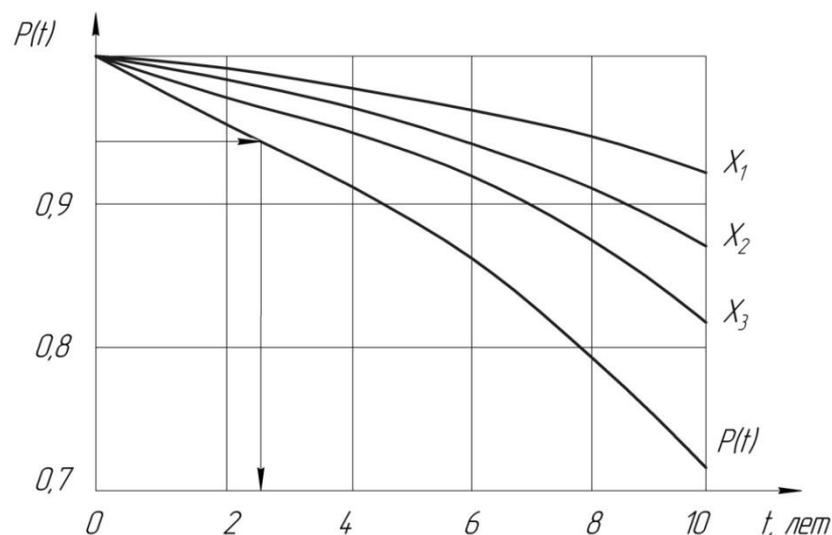


Рисунок 2.3. Вероятность безотказной работы

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для повышения безотказности машин и их элементов применяются следующие основные методы:

1. Повышение надежности узлов и элементов благодаря рациональной конструкции и применению износостойких материалов. Большая сопротивляемость вредным воздействиям на узел уменьшает скорость потери его работоспособности и смещает кривую рассеивания сроков службы $f(t)$ в область более высоких значений t и повышают вероятность безотказной работы за данный период времени.
2. Повышение стабильности технологических процессов при изготовлении деталей машин. Это приводит к уменьшению дисперсии сроков службы, что даже при одинаковых сроках службы может повысить надежность элементов $F_1 < F_2$.
3. Обкатка машины и ее узлов позволяет выявить те недостатки изготовления и сборки, которые приводят к повышенным внезапным отказам в первый период работы машины (время t_1 желательно исключать из времени работы машины).
4. Защита машины от случайных перегрузок или вредных воздействий.
5. Применение резервирования для систем из элементов невысокой надежности.
6. Применение самовосстанавливающихся схем.
7. Упрощение системы. Создать более простую машину, выполняющую заданную ранее функцию.

ПРИЛОЖЕНИЕ**ЗАДАНИЕ**

1. Рассчитать рассеяние скоростей изменения параметров X_1, X_2, X_3 :

$$\gamma_{X_{cp}} = \frac{\sum \gamma_X}{n}$$

и среднеквадратическое отклонение

$$\sigma_X = \sqrt{\frac{\sum (\gamma_{Xi} - \gamma_{X_{cp}})^2}{n}},$$

где i – индекс максимального значения γ_x .

2. Рассчитать вероятность безотказной работы станка (область работоспособности)

$$P(t) = \Phi \left[\frac{X_{max} - a_0 - \gamma_{X_{cp}} \cdot t}{\sqrt{\sigma_a^2 + (\sigma_X \cdot t)^2}} \right]$$

для каждого выходного параметра.

3. Рассчитать вероятность безотказной работы станка

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t)$$

при $t = 1; 3; 5; 10$ лет.

4. Построить зависимость $P(t)$ в функции времени.
 5. Определить ресурс T_p станка по точности при $P(t) = 0,95$.
 6. Сделать выводы.
 7. Результаты расчетов сведем в таблицу 1.

Таблица 1

Оценка параметрической надежности станка

Выходной параметр	Область состояний по результатам испытаний		Область работоспособности X_{\max} , МКМ	Запас надежности K_H	Результаты прогноза и расчета		Расчет вероятности $P(t)$ при работе станка t , лет				Средний ресурс по параметру $T_{\text{ср}}$, лет
	$a_0 = X_1 \text{ ср}$	$\sigma_a = \sigma_1$			$\gamma_{x \text{ ср}}$, МКМ/Год	σ_x , МКМ/Год	1 год	3 года	5 лет	10 лет	
x_1	Данные из табл. 1 (практ. №1)										
x_2											
x_3											
Показатели параметрической надежности станка				Вероятность безотказной работы $P(t)$							Средний ресурс станка $T_{\text{ср}}$
				Ресурс по точности T_p при $P(t) = 0,95$							

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.М. Бржозовский А.А. Игнатъев В.В. Мартынов и др. Диагностика и надежность автоматизированных систем. - Учебное пособие (гриф МОРФ). - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 432 с.
2. Схиртладзе А. Г. Технологическое оборудование машиностроительных производств [Текст] : учебное пособие / А. Г. Схиртладзе, Т. Н. Иванова, В. П. Борискин. - 2-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2009. - 708 с. - ISBN 978-5-94178-124-9 : *Гриф: УМО АМ.*
3. Металлорежущие станки [Текст] : учебник / В. Д. Ефремов [и др.] ; под общ. ред. П. И. Ящерицына. - 5-е изд., перераб. и доп. - Старый Оскол : ТНТ, 2009. - 696 с. - ISBN 978-5-94178-129-4 : *Гриф УМО АМ.*
4. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1995. 287с.
5. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. М.: Машиностроение, 1989. 295 с.
6. Старков В.К. Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ. М.: Машиностроение, 1994. 119 с.
7. Пляскин И.И. Оптимизация технологических решений в машиностроении. М.: Машиностроение, 1992. 175 с.
8. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М.: Изд-во «Мир», 1982. 381 с.