

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 22.12.2021 19:56:51

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»**

Кафедра «Управление качеством, метрология и сертификация»

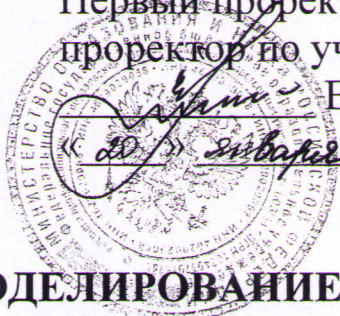
УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –

проректор по учебной работе

Е.А. Кудряшов

2012 г.



**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА
НАПРАВЛЯЮЩИХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ**

Методические указания по выполнению лабораторной работы
по дисциплинам «Надежность и диагностика»
для обучающихся по специальности 200503 «Стандартизация и
сертификация» и «Надежность технических систем» для
обучающихся по направлениям 221700 «Метрология,
стандартизация и сертификация», 221400 «Управление качеством»

Курск 2012

Составители Сторублев М.Л., Ивахненко А.Г.

УДК 62.192

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобилей,
транспортных систем и процессов» *Е.В. Агеев*

**Имитационное моделирование износа направляющих
металлорежущих станков** [Текст]: методические указания по выполнению
лабораторной работы по дисциплине «Надежность и диагностика»/ сост.
М.Л. Сторублев, А.Г. Ивахненко; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2011. 11 с.

Методические указания содержат сведения о процессе износа направляющих металлорежущих станков и о технологии имитационного моделирования износа направляющих в математическом пакете MAPLE для прогнозирования надежности станков.

Методические указания соответствуют требованиям программ, утвержденных учебно-методическим объединением по специальности «Стандартизация и сертификация» и направлениям подготовки «Метрология, стандартизация и сертификация», «Управление качеством» (УМО).

Предназначены для студентов специальности 200503 и направлений подготовки 221400, 221700.

Текст печатается в авторской редакции

ИД №06430 от 10.12.01.

Подписано в печать *20.01.12*. Формат 60x84 1/16. Печать офсетная.

Усл.печ.л. *26*. Уч.-изд.л. *25*. Тираж 40 экз. Заказ *107* Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

Издательско-полиграфический центр Юго-Западного государственного
университета. 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

1 Цель работы

Получить практические навыки по имитационному моделированию износа направляющих металлорежущих станков в математическом пакете MAPLE для прогнозирования надежности станков.

2 Задание

2.1 В математическом пакете MAPLE написать текст программы для прогнозирования параметрической надежности станков.

2.2 Рассчитать среднее значение скорости изнашивания, вероятность безотказной работы как функции времени и средний срок службы направляющих.

3 Краткие теоретические положения

3.1 Износ направляющих станков – параметрическая надежность

Параметрический отказ приводит к выходу параметров (характеристик) изделия за допустимые пределы. Такие отказы, как нарушение точности обработки на станке, падение коэффициента полезного действия передачи, снижение максимальной скорости движения автомобиля ниже нормы и другие не ограничивают возможность дальнейшего функционирования изделия. Однако оно становится неработоспособным с точки зрения требований, установленных техническими нормативами.

Для направляющих станков основной причиной потери работоспособности является износ [1]. Повреждение поверхности в результате износа приводит к искажению начальной формы направляющих, что влияет на точность обработки детали. Поэтому выходной параметр станка – погрешность обработки Δ , - функционально связан с износом направляющих U , т.е. $\Delta = f(U)$. Однако, если Δ не превосходит допустимого (по требованиям точности к станку) значения $\Delta_{\text{доп}}$, то отказ не возникает.

Согласно усталостной теории износа [2], в случае если давление в направляющих p не превосходит некоторого критического значения $p_{\text{кр}}$, то процесс изнашивания не возникает.

Критическое значение давления соответствует контактными напряжениям, возникающим в микровыступах поверхностей при их взаимном внедрении в процессе трения, которые должны быть ниже длительного предела усталости для данной пары материалов. Это требование обычно приводит к повышенным габаритам направляющих и поэтому, как правило, $p > p_{кр}$, т.е. имеют место условия для возникновения усталостного износа.

Все функциональные зависимости, определяющие протекание процесса износа, проявляются при эксплуатации станков, как случайные процессы. Это связано с двумя основными причинами:

1) Начальные свойства материалов и геометрические параметры направляющих имеют рассеивание, так как являются продуктом некоторого технологического процесса их изготовления, характеризующегося своей определенной точностью и стабильностью.

2) Стохастическая природа процессов износа связана с широкой вариацией режимов работы и условий эксплуатации станков.

В результате зависимости, описывающие процессы износа, становятся функциями случайных аргументов – нагрузок, скоростей, условий смазки и т.п.

Показателями износа являются:

1) *линейный износ* U (мкм) – изменение размера поверхности при ее износе, измеренное в направлении, перпендикулярном к поверхности трения;

2) *скорость изнашивания* $\gamma = dU/dt$ (мкм/ч) – отношение величины износа ко времени, в течение которого он возник;

3) *интенсивность изнашивания* $j = dU/ds$ – отношение величины износа к относительному пути трения (s), на котором происходило изнашивание; эта величина будет безразмерной, если линейный износ и путь трения измеряются в одних единицах.

Закон изнашивания материалов должен в общем виде выражать в аналитической форме зависимость U или γ от следующих факторов:

- от силовых и кинематических параметров и в первую очередь от давления на поверхности трения p и скорости относительного скольжения v ;

- от параметров, характеризующих состав, структуру и механические свойства материалов трущейся пары (например, его твердость H , предел текучести σ_s , модуль упругости E и др.);
- от свойств поверхностного слоя – его шероховатости, жесткости, напряженного состояния и т.д.;
- от вида трения и смазки;
- от внешних условий, влияющих на процесс изнашивания – температуры, наложения вибрации, наличия вакуума и др.

Кроме того, все закономерности должны описывать изменения износа во времени t .

Для периода установившегося (нормального) износа (периоды приработки и катастрофического износа не рассматриваются) линейный износ равен

$$U = \gamma t. \quad (1)$$

На основе анализа большого числа исследований износа различных материалов в условиях граничного трения и трения без смазки, установлено [1], что в общем виде скорость изнашивания может быть выражена зависимостью

$$\gamma = k p^m v^n, \quad (2)$$

где $m = 0,5 \div 3$ и для большинства пар трения $n = 1$; k – коэффициент износа, характеризующий материал пары и условия изнашивания.

Для абразивного и других видов изнашивания $m = n = 1$,

$$\gamma = k p v, \quad (3)$$

или

$$U = \gamma t = k p v t = k p s, \quad (4)$$

где $s = v t$ – путь трения.

Если все линейные величины выразить в одинаковых единицах, то размерность коэффициента износа k будет обратной размерности давления.

3.2 Модель формирования параметрического отказа направляющих станков

Скорость изнашивания γ зависит, как правило, от большого числа случайных факторов – от нагрузки, скорости, температуры,

условий эксплуатации и т.п. Поэтому наиболее характерен случай, когда она подчинена нормальному закону распределения, т.е.

$$f(\gamma) = \frac{1}{\sigma_\gamma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\gamma - \gamma_{\text{ср}})^2}{2\sigma_\gamma^2}}, \quad (5)$$

где $f(\gamma)$ – плотность вероятности; $\gamma_{\text{ср}}$ – среднее значение (математическое ожидание) скорости изнашивания; σ_γ – среднее квадратическое отклонение скорости изнашивания.

Предельно допустимое значение параметра U_{max} устанавливается из условия обеспечения заданной точности обработки детали на станке. При $U = U_{\text{max}}$ наступает предельное состояние, которое и определяет срок службы (наработку) направляющих до отказа $t = T$. Срок службы T является функцией случайного аргумента γ , т.е. $T = \varphi(\gamma) = U_{\text{max}}/\gamma$. Средний срок службы направляющих $T_{\text{ср}} = U_{\text{max}}/\gamma_{\text{ср}}$.

После определения плотности распределения $f(t)$ на основе $f(\gamma)$, можно найти вероятность безотказной работы направляющих

$$P(T) = 0,5 + \Phi \left(\frac{U_{\text{max}} - \gamma_{\text{ср}} T}{T \sigma_\gamma} \right), \quad (6)$$

где Φ – нормированная функция Лапласа, $0 \leq \Phi \leq 0,5$.

3.3 Применение метода Монте-Карло для прогнозирования надежности

Рассмотренная модель параметрического отказа является формализованным описанием процесса потери станком работоспособности вследствие износа направляющих. Она устанавливает функциональную связь между показателями надежности и действующими факторами.

Статистическая природа этой закономерности проявляется в том, что аргументы полученной функции являются случайными и зависят от большого числа факторов. Поэтому и нельзя точно предсказать поведение системы, а можно лишь определить вероятность того или иного ее состояния.

Для прогнозирования поведения сложных систем нашел широкое применение метод статистического моделирования – метод Монте-Карло. Основная идея этого метода заключается в многократном расчете параметров по некоторой формализованной схеме, являющейся математически описанием рассматриваемого процесса (в нашем случае – процесса износа направляющих станка). При этом для случайных параметров, входящих в выражения, перебираются наиболее вероятные их значения в соответствии с законами распределения.

Таким образом, каждое статистическое испытание заключается в выявлении одной из реализаций случайного процесса, так как подставляя, хотя и случайным образом, выбранные, но зафиксированные аргументы, мы получаем детерминированную зависимость, которая описывает данный процесс при принятых условиях. Многократно повторяя испытания по данной схеме, получаем большое число реализаций случайного процесса, которое позволит оценить ход этого процесса и его основные параметры.

Металлорежущий станок может попасть в разные условия эксплуатации и работать при разных режимах. Для того чтобы предсказать ход процесса потери станком точности из-за износа направляющих, надо знать вероятностную характеристику тех условий, в которых он будет эксплуатироваться. Такими характеристиками могут быть законы распределения нагрузок (сил резания и веса) $f(P)$, скоростей (для станков скорость относительного скольжения пропорциональна подаче) $f(v)$ и условий эксплуатации $f(k)$. Спектры нагрузок и скоростей для металлорежущих станков могут быть определены из технологических процессов изготавливаемых на них деталей в виде гистограмм или законов распределения. Условия эксплуатации можно установить по работе аналогичного оборудования на конкретном предприятии, или в среднем для группы предприятий.

Алгоритм для оценки надежности методом Монте-Карло состоит из программы одного случайного испытания, по которой определяется конкретное значение скорости изнашивания γ_U . Данное испытание повторяется N раз, где N должно быть достаточно большим для получения достаточно достоверных

статистических данных, например $N \geq 50$. По результатам этих испытаний оценивается математическое ожидание $\gamma_{\text{ср}}$ и среднеквадратическое отклонение σ_{γ} случайного процесса, т.е. данные необходимые для определения $P(t)$.

Последовательность расчета (статистического испытания) следующая. После ввода необходимых данных (оператор 1) производится выбор конкретных для данного испытания значений p , ν и k (оператор 2). Для этого используются гистограммы действительных значений параметров или подпрограммы генерации случайных чисел по принятым законам распределения. В каждом испытании рассчитывается скорость изнашивания γ (оператор 3) и по ней скорость процесса изменения параметра γ_U (оператор 4), значение которой запоминается. После накопления необходимого количества статистических данных, т.е. при $n = N$ (проверка выполняется в операторе 5) оператором 4 полностью формируется гистограмма (закон) распределения. Далее определяются величины $\gamma_{\text{ср}}$ и σ_{γ} (операторы 6 и 7), после чего возможен расчет вероятности безотказной работы $P(T)$ (оператор 8) и печать необходимых данных (оператор 9).

3.4 Программа для прогнозирования параметрической надежности

Текст программы для прогнозирования параметрической надежности станков в математическом пакете MAPLE приведен построчно, после каждой из которых даются необходимые комментарии.

```
> with(stats): with(stats[statplots]):
```

Знак $>$ является приглашением MAPLE и пользователем не вводится. Оператором «with(stats):» производится подключение библиотеки статистических функций, двоеточие после оператора подавляет вывод дополнительных сведений и результатов расчетов. Оператор «with(stats[statplots]):» выполняет подключение библиотеки графики статистических функций.

```
> N:=50; m:=1; n:=1; Umax:=1;
```

Здесь задается число испытаний, показатели степени, а также значение величины износа, при которой наступает

параметрический отказ. Точка с запятой после оператора разрешает вывод откликов и результатов расчетов.

```
> p:=[stats[random, normald[10,3]](N)]; histogram(p,
colour=cyan);
```

Данными операторами генерируются N случайных (random) значений величины давления, имеющих нормальное (normald) распределение с математическим ожиданием $p_{cp} = 10$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma_p = 3$, после чего выполняется построение гистограммы (histogram).

```
> v:=[stats[random, normald[12,2]](N)]; histogram(v,
colour=cyan);
```

Выполняются аналогичные действия для случайной величины v – скорости относительного скольжения, здесь $v_{cp} = 12$ и $\sigma_v = 2$.

```
> k:=[stats[random, uniform[0.000001,0.00001]](N)];
histogram(k, colour=cyan);
```

Этими операторами генерируются N случайных значений коэффициента износа, имеющих равномерное (uniform) распределение, причем $0,000001 \leq k \leq 0,00001$, и строится гистограмма.

```
> for i from 1 to N do gam[i]:=k[i]*(p[i]^m)*(v[i]^n) od:
gam1:=convert(gam,list): histogram(gam1, colour=cyan);
```

С помощью оператора цикла рассчитываются N значений величины γ , список этих значений преобразуется в формат list и выполняется построение гистограммы для скорости изнашивания.

```
> gams:=0;
> for i from 1 to N do gams:=gams+gam[i] od:
> gamsr:=gams/N;
```

Данные операторы соответствуют блоку 6 алгоритма и позволяют определить среднюю величину скорости изнашивания.

```
> sig:=0;
> for i from 1 to N do sig:=(gam[i]-gamsr)^2 od:
> sigma:=(sig/(N-1))^0.5;
```

Эти операторы реализуют блок 7 алгоритма и служат для определения величины σ_γ .

```
> arg:=(Umax-gamsr*T)/(T*sigma);
```

Здесь вычисляется аргумент функции Лапласа, см. выражение (6).

> P:=0.5+0.5*erf(arg/2^0.5);

Этот оператор вместе с предыдущим реализуют блок 8 алгоритма и позволяют рассчитать вероятность безотказной работы как функцию времени.

> plot(P, T=0..2000);

Здесь реализуется построение графика зависимости $P(T)$ при значении времени $0 \leq T \leq 2000$.

4 Порядок выполнения

1 Напишите в математическом пакете MAPLE текст программы для прогнозирования параметрической надежности станков. Для этого задается число испытаний, показатели степени давления на поверхности трения (m) и скорости относительного скольжения (n), а также значение величины износа U_{\max} , при которой наступает параметрический отказ (табл. 1).

Таблица 1

Номер варианта	Число испытаний, N	Показатель степени, m	Показатель степени, n	Величина износа, U_{\max} , мкм
1	70	0,5	0,95	10
2	70	0,6	0,95	20
3	70	0,7	0,95	30
4	90	0,8	0,95	40
5	90	0,9	0,95	50
6	90	1,0	1,0	80
7	100	1,1	1,0	90
8	100	1,2	1,0	100
9	100	1,3	1,0	70
10	110	1,4	1,0	60
11	110	1,5	1,05	35
12	110	1,6	1,05	55
13	120	1,7	1,05	75
14	120	1,8	1,05	95
15	120	1,9	1,05	5
16	150	2,0	1,1	25
17	150	2,1	1,1	15
18	80	2,2	1,1	45
19	80	2,3	1,1	85
20	80	2,4	1,1	65

Данные для генерации случайных значений величины давления, скорости относительного скольжения, коэффициента износа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Номер варианта	Давление на поверхности трения, МПа		Скорость относительного скольжения, мкм/ч		Коэффициент износа, k , 1/МПа	
	Распределение нормальное		Распределение нормальное		Распределение равномерное	
	ρ_{cp}	σ_p	v_{cp}	σ_v	от	до
1	22	2,0	10	0,7	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$
2	23	2,1	28	0,8	$2 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-5}$
3	24	2,2	20	1,2	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
4	13	1,2	18	1,3	$4 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
5	14	1,5	29	0,3	$1 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-6}$
6	25	2,3	16	0,4	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
7	26	2,6	22	0,5	$6 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-5}$
8	27	2,8	24	1,4	$4 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$
9	28	2,4	19	1,5	$5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$
10	15	1,6	11	1,8	$1 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-7}$
11	16	1,3	13	0,9	$3 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7}$
12	17	1,7	17	1,0	$5 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-6}$
13	18	1,0	15	1,1	$5 \cdot 10^{-7}$	$9 \cdot 10^{-7}$
14	19	1,4	21	1,9	$4 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-7}$
15	20	2,5	25	2,1	$7 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$
16	21	2,7	23	1,6	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$
17	10	1,8	26	1,7	$1 \cdot 10^{-8}$	$9 \cdot 10^{-8}$
18	11	0,8	14	2,0	$7 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
19	12	0,9	12	2,2	$2 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-8}$
20	29	1,9	27	2,3	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$

2 Охарактеризуйте график зависимости вероятности безотказной работы от времени.

3 На основании полученных данных о средней скорости изнашивания рассчитайте значение среднего срока службы направляющих.

5 Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- тему лабораторной работы;
- цель лабораторной работы;
- задание к лабораторной работе;
- текст программы для прогнозирования параметрической надежности станков;

- значения средней скорости изнашивания и среднего срока службы направляющих станка;
- график зависимости вероятности безотказной работы от времени;
- вывод о параметрической надежности направляющих станка, сделанный по результатам имитационного моделирования износа направляющих.

6 Библиографический список

1. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592с.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. М.: Машиностроение, 1968. 480с.
3. Сахаров Г.Н., Боровой Ю.Л. и др. Режущие инструменты. М.: Машиностроение, 1989. 327с.
4. Справочник технолога машиностроителя /Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. Т.2. М.: Машиностроение, 1986. 496с.
5. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов. М.: Машгиз, 1959. 490с.
6. Нефёдов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. М.: Машиностроение, 1990. 448с.