Выводы

Многомерная шкала позволяет оценить шероховатость поверхности в широком диапазоне, - от микро- до субмикро- и нанодиапазонов, - на основе применения методов сканирующей зондовой микроскопии и фрактального анализа, что дает возможность оценить не только геометрические параметры поверхности, но и структурные характеристики поверхностного слоя деталей.

Литература

1. Потапов А.А., Булавкин В.В., Герман В.А., Вячеславова О.Ф. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур. В журнале «Журнал технической физики», т.75, выпуск 5, Москва 2005 г., стр. 38-45
2. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. - Нижний Новгород: Российская академия наук, институт физики микроструктур, 2004 г., 114 стр
3. Горохов Д.Б. Контактное взаимодействие фрактальных шероховатых поверхностей деталей машин. Диссертация на соискание ученого звания к.т.н. - Братск: ГОУВПО «Братский государсвенный университет», 2005 г., 123 стр. 2006 г., 120 стр
4. Киселевский О.С. Методика мультифрактального анализа поверхнотей по данным атомно-силовой микроскопии. В журнале «БелСЗМ», выпуск 4, Гомель, 2000 г., стр. 31-40
5. ЗАО «Нанотехнология-МТД». Nova. Программное обеспечение для СЗМ. Справочное руководство. - Москва, Август,
6. РМГ 83-2007. Государственная система обеспечения единства измерений. Шкалы измерений. Термины и определения. - Москва: Издательство Стандартов, 2008 г., 17 стр

Новый аппарат оценки согласия эмпирического и теоретических распределений

Басова Е.В., д.т.н. проф. Копылов Л.В., доц. к.т.н. Петухов С.Л.
МГМУ «МАМИ»
mami-ktms@yandex.ru (495)223-05-23

Аннотация. Разработан алгоритм машинной программы для расчета коэффициентов, используемых при расчете размерных цепей с учетом выбранного теоретического закона для аппроксимации, рассматриваемой эмпирической кривой.

Ключевые слова: *расчет размерных цепей, аппроксимации эмпирической кривой.*

Рассмотрим согласие эмпирического распределения (статистическая функция распределения) и теоретических законов распределения для решения задачи повышения точности прогнозирования надежности заданного точностного показателя. Будем рассматривать только тот участок эмпирической кривой, который, как правило, характеризует количество бракованных деталей, т.е. конец ветви.

Теоретический закон будет приниматься в том случае, если он находится внутри доверительного интервала статистической функции распределения $\overline{F}(x)$, соответствующему коэффициенту доверия g, т.е.

$$\overline{F}(x) - \frac{U_g}{\sqrt{N}} < F(x) < \overline{F}(x) + \frac{U_g}{\sqrt{N}}, \tag{1}$$

где: $F(x)$ - теоретическая функция распределения;

$\overline{F}(x)$ - статистическая функция распределения;

N - размер выборки.

Величину U_g, при достаточно большом числе опытов, можно определить из уравнения

$K(U_g) = g$ по таблице функции Колмогорова $K(U)$.

Построим статистическую функцию распределения для участка $L_i > 120$ эмпирической кривой величины радиального биения наружного диаметра ротора относительно шеек вала ротора под подшипники (звено A_6), которая показана на рисунке 1.

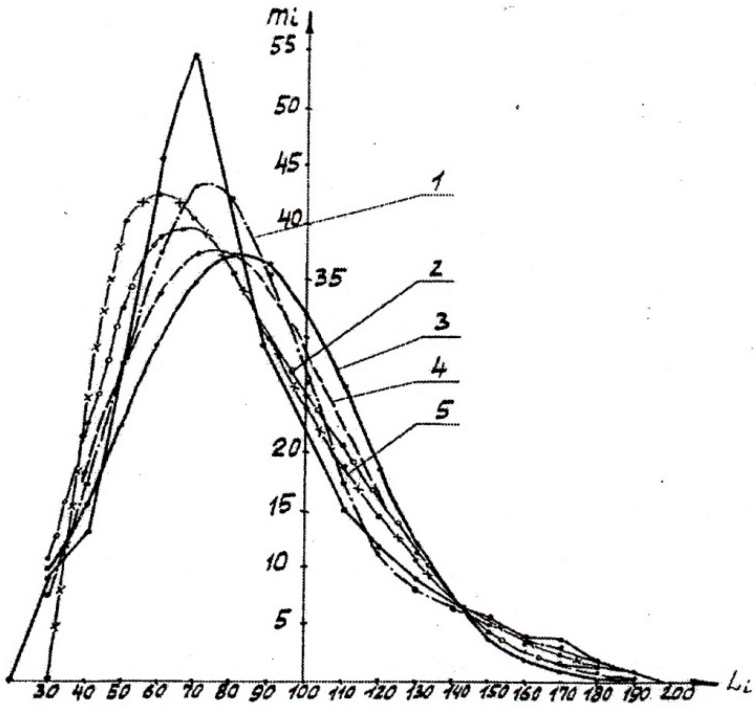

Рисунок 1 – Аппроксимация эмпирической кривой распределения значений радиального биения наружного диаметра ротора относительно шеек вала ротора: 1- закон Грама-Шарлье; 2 - закон Эджворта; 3 - закон нормального распределения; 4 - закон распределения размахов; 5 - закон Пирсона

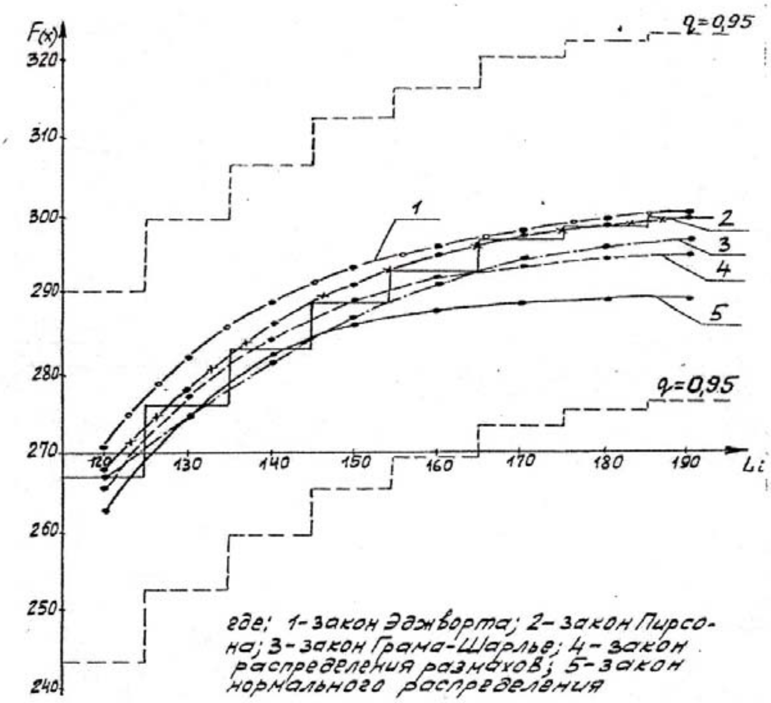

Рисунок 2 – Оценка согласия законов статистического и теоретического распределения

Принимая $g = 0{,}95$, по таблице найдем значение величины $U_g = 1{,}36$ и построим границы доверительного интервала (рисунок 2). Т.к. значения F(x) отложены в частотах, то величину $\frac{U_g}{\sqrt{N}}$ надо умножить на число деталей в выборке, т.е. на 300.

Пользуясь машинной распечаткой для звена A_6 СРЦ, построим теоретические функции распределения для законов нормального распределения, распределения размахов, Грамма-Шарлье, Эджворта, Пирсона и Вейбула.

Из рисунка 2 видно, что при $g = 0{,}95$ каждый из упомянутых теоретических законов может быть принят в качестве модели рассматриваемого участка эмпирической кривой.

Методика расчета относительного среднего квадратического отклонения и коэффициента относительной асимметрии для выбранных теоретических законов

Для расчета коэффициента среднего квадратического отклонения (λ) и относительной асимметрии (α) была разработана машинная программа, условно названная FELD, которая предназначена для работы в составе программы RASPR.

Расчет коэффициентов λ и α производится по следующим формулам:

$$\lambda = \frac{2\sigma}{\omega}; \qquad \alpha = \frac{\mu(x) - \Delta\omega}{\omega/2}; \tag{2}$$

где: σ - среднее квадратическое отклонение;

ω - ширина поля рассеивания;

$\mu(x)$ - координата центра группирования;

Δ_ω - координата середины поля рассеивания.

Значение α определяется по эмпирическим данным, а значение координат $\mu(x)$ и Δ_ω - по рассматриваемому теоретическому распределению (рисунок 3). Ширина поля рассеивания для каждого теоретического распределения определялась из условия ее минимального значения, причем площадь, ограниченная по бокам границами поля рассеивания, а сверху - кривой распределения, должна составлять не менее 99,73 %.

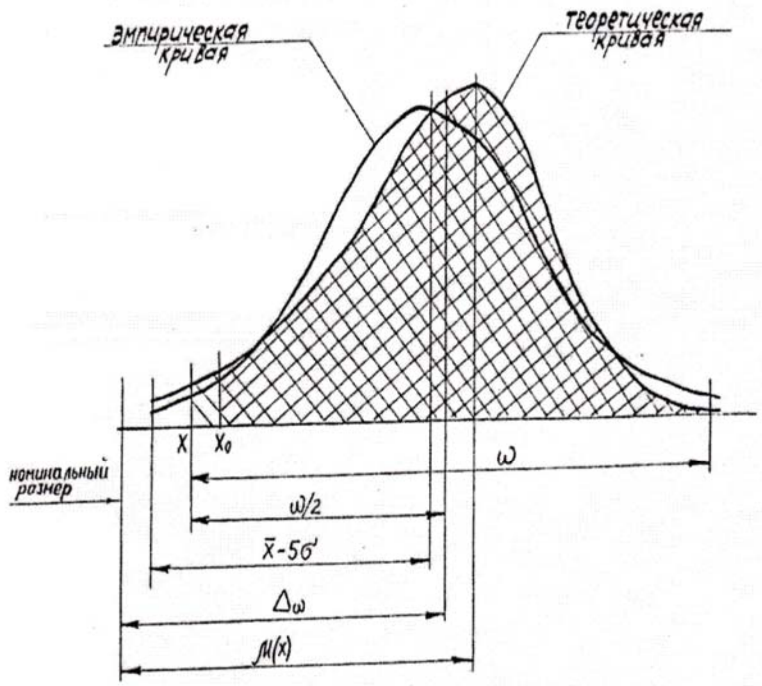

Рисунок 3 – Схема для определения коэффициентов λ и α для предполагаемого теоретического закона распределения

Границы поля рассеивания определялись следующим образом: вначале определялась граница x_0 интервала $[x_0;+\infty]$ из условия, что площадь под кривой в рассматриваемом интервале составляет 99,73 %. Далее от значения средней арифметической по оси абсцисс откладывалась величина 5σ. На основании анализа эмпирических данных можно полагать, что левая граница искомой ширины поля рассеивания лежит в интервале $[x-5\sigma; x_0]$. Затем, используя метод «золотого сечения», уточняем левую и находим правую границу поля рассеивания.

Результаты исследования

С помощью разработанной машинной программы был проведен анализ точности десяти точностных размерных параметров сборочных единиц и узлов генератора, являющихся наиболее значимыми звеньями выявленной СРЦ Результаты оценки точности аппроксимации эмпирических распределений разными теоретическими законами представлены в виде распечаток и для лучшей наглядности сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты оценки точности аппроксимации эмпирических кривых распределения разными теоретическими законами

Звено СРЦ	Оценка точности подбора теоретического закона распределения и соответствующий % брака	Вся эмпирическая кривая				
		Закон нормального распределения	Закон распределения размахов	Ряд Грама-Шарлье	Ряд Эджворта	Система функций плотности Пирсона
А1	Наим. $\sum кв.$	$5{,}18\cdot10^{-2}$	-	$5{,}05\cdot10^{-2}$	$5{,}06\cdot10^{-2}$	$5{,}08\cdot10^{-2}$
	% брака	23	-	21,3	21,4	21,7
В1	Наим. $\sum кв.$	$1{,}08\cdot10^{-2}$	-	$1{,}07\cdot10^{-2}$	$1{,}07\cdot10^{-2}$	$1{,}07\cdot10^{-2}$
	% брака	38,4	-	40,4	40,6	41,3
В2	Наим. $\sum кв.$	$1{,}34\cdot10^{-1}$	-	$1{,}28\cdot10^{-1}$	$1{,}28\cdot10^{-1}$	$1{,}28\cdot10^{-1}$
	% брака	6,29	-	5,88	5,88	5,88
В3	Наим. $\sum кв.$	$4{,}37\cdot10^{-2}$	$4{,}41\cdot10^{-2}$	$4{,}22\cdot10^{-2}$	$4{,}23\cdot10^{-2}$	$4{,}06\cdot10^{-2}$
	% брака	42	39,4	47,7	49,6	50,8
Г1	Наим. $\sum кв.$	$9{,}85\cdot10^{-2}$	-	$9{,}66\cdot10^{-2}$	$9{,}7\cdot10^{-2}$	-
	% брака	2,32	-	5,46	4,48	-
Г2	Наим. $\sum кв.$	$1{,}25\cdot10^{-2}$	-	$1{,}21\cdot10^{-1}$	$1{,}21\cdot10^{-1}$	$1{,}21\cdot10^{-1}$
	% брака	0,981	-	3,81	3,81	1,92
А5	Наим. $\sum кв.$	$4{,}61\cdot10^{-2}$	-	$4{,}52\cdot10^{-2}$	$4{,}57\cdot10^{-2}$	$4{,}58\cdot10^{-2}$
	% брака	59,9	-	51,3	56,7	56,1
А6	Наим. $\sum кв.$	$8{,}91\cdot10^{-1}$	$8{,}86\cdot10^{-2}$	$8{,}75\cdot10^{-2}$	$8{,}81\cdot10^{-2}$	$8{,}75\cdot10^{-2}$
	% брака	11,8	12,4	11,9	12,8	13,0
А8	Наим. $\sum кв.$	$3{,}52\cdot10^{-2}$	$3{,}48\cdot10^{-2}$	$3{,}5\cdot10^{-2}$	$3{,}5\cdot10^{-2}$	$3{,}43\cdot10^{-2}$
	% брака	5,86	7,35	7,57	7,33	0,53
А10	Наим. $\sum кв.$	$9{,}1\cdot10^{-2}$	$8{,}97\cdot10^{-2}$	$8{,}82\cdot10^{-2}$	$8{,}87\cdot10^{-2}$	-
	% брака	6,89	9,0	8,26	7,52	-
А1	Наим. $\sum кв.$	$1{,}42\cdot10^{-3}$	-	$1{,}15\cdot10^{-3}$	$1{,}1\cdot10^{-3}$	$1{,}24\cdot10^{-3}$

	% брака	9,29	-	8,94	8,95	9,04
В1	Наим. $\sum$ *кв.*	$1{,}73\cdot 10^{-3}$	-	$1.66\cdot 10^{-3}$	$1{,}66\cdot 10^{-3}$	$1{,}64\cdot 10^{-3}$
	% брака	20,1	-	20,9	21	21,2
В2	Наим. $\sum$ *кв.*	$2{,}88\cdot 10^{-4}$	-	$3{,}18\cdot 10^{-4}$	$3{,}18\cdot 10^{-4}$	$3{,}18\cdot 10^{-4}$
	% брака	6,11	-	4,21	4,21	5,74
В3	Наим. $\sum$ *кв.*	$2{,}44\cdot 10^{-2}$	$2{,}51\cdot 10^{-2}$	$2{,}27\cdot 10^{-2}$	$2{,}15\cdot 10^{-2}$	$1{,}96\cdot 10^{-2}$
	% брака	42	39,4	47,7	49,6	50,8
Г1	Наим. $\sum$ *кв.*	$4{,}09\cdot 10^{-4}$	-	$3{,}71\cdot 10^{-4}$	$3{,}91\cdot 10^{-4}$	-
	% брака	2,26	-	5,38	4,26	-
Г2	Наим. $\sum$ *кв.*	$9{,}74\cdot 10^{-5}$	-	$8{,}43\cdot 10^{-5}$	$8{,}43\cdot 10^{-5}$	$9{,}28\cdot 10^{-5}$
	% брака	0,653	-	2,57	2,54	1,33
А5	Наим. $\sum$ *кв.*	$3{,}24\cdot 10^{-3}$	-	$3{,}48\cdot 10^{-3}$	$3{,}39\cdot 10^{-3}$	$3{,}41\cdot 10^{-3}$
	% брака	37,8	-	30,2	32,6	32,1
А6	Наим. $\sum$ *кв.*	$1{,}84\cdot 10^{-3}$	$1{,}83\cdot 10^{-3}$	$1{,}87\cdot 10^{-3}$	$1{,}84\cdot 10^{-3}$	$1{,}82\cdot 10^{-3}$
	% брака	11,8	12,4	11,9	12,8	13,0
А8	Наим. $\sum$ *кв.*	$3{,}3\cdot 10^{-3}$	$3{,}3\cdot 10^{-3}$	$3{,}25\cdot 10^{-3}$	$3{,}24\cdot 10^{-3}$	$3{,}19\cdot 10^{-3}$
	% брака	5,86	7,35	7,57	7,33	8,53
А10	Наим. $\sum$ *кв.*	$8{,}21\cdot 10^{-3}$	$7{,}86\cdot 10^{-3}$	$7{,}97\cdot 10^{-3}$	$8{,}49\cdot 10^{-3}$	-
	% брака	6,89	9,0	8,26	7,52	-

Звено СРЦ	Оценка точности подбора теоретического закона распределения и соответствующий % брака	Вся эмпирическая кривая			
		Закон нормального распределения	Ряд Грама-Шарлье	Ряд Эджворта	Система функций плотности Пирсона
А1	Наим. $\sum$ *кв.*	$1{,}72\cdot 10^{-3}$	$1{,}52\cdot 10^{-3}$	$1{,}55\cdot 10^{-2}$	$1{,}58\cdot 10^{-3}$
	% брака	1,37	12,4	12,4	12,7
В1	Наим. $\sum$ *кв.*	$1{,}36\cdot 10^{-3}$	$1{,}43\cdot 10^{-3}$	$1{,}44\cdot 10^{-3}$	$1{,}47\cdot 10^{-3}$
	% брака	18,3	19,5	19,6	20,0
В2	Наим. $\sum$ *кв.*	$6{,}6\cdot 10^{-5}$	$5{,}82\cdot 10^{-5}$	$5{,}82\cdot 10^{-5}$	$6{,}36\cdot 10^{-5}$
	% брака	0,173	1,67	1,67	0,668
В3	Наим. $\sum$ *кв.*	-	-	-	-
	% брака	-	-	-	-
Г1	Наим. $\sum$ *кв.*	0,0	0,0	0,0	-
	% брака	0,0851	0,077	0,218	-
Г2	Наим. $\sum$ *кв.*	$2{,}0\cdot 10^{-5}$	$2{,}03\cdot 10^{-5}$	$2{,}02\cdot 10^{-5}$	$2{,}13\cdot 10^{-5}$
	% брака	0,327	1,24	1,29	0,59
А5	Наим. $\sum$ *кв.*	$2{,}76\cdot 10^{-5}$	$2{,}7\cdot 10^{-5}$	$2{,}59\cdot 10^{-5}$	$2{,}78\cdot 10^{-5}$
	% брака	22,0	21,1	24,1	23,9
А6	Наим. $\sum$ *кв.*	-	-	-	-

	% брака	-	-	-	-
А8	Наим. $\sum кв.$	-	-	-	-
	% брака	-	-	-	-
А10	Наим. $\sum кв.$	-	-	-	-
	% брака	-	-	-	-

В качестве пояснений к таблице 1 необходимо отметить:

а) в таблице приведены условные обозначения звеньев СРЦ – $А_1$, $В_3$ и т.д.;

б) при реализации машинной программы на печать выведен коэффициент процента брака, а в таблице, для простоты чтения, приведен непосредственно процент брака (т.е. значение, данное в распечатке -100).

Анализ результатов машинной обработки экспериментальных данных показывает, что ни для одной из рассмотренных эмпирических кривых точность аппроксимации всей эмпирической кривой общепринятыми теоретическими законами Гаусса размахов не является максимальной. [1]

При аппроксимации участков эмпирических кривых, характеризующих количество бракованных деталей, рассмотренными теоретическими законами только в 4-х случаях из 16-ти оптимальными являются закон нормального распределения или закон распределения размахов. В остальных случаях ошибка при прогнозировании вероятности выхода рассматриваемого параметра за границу допуска на базе общепринятых теоретических законов может превышать 250 %.

Для графической интерпретации результатов расчетов, приведенных в приложении, в качестве примера рассмотрим аппроксимацию эмпирических кривых отклонений размеров двух звеньев СРЦ.

На рисунке 4 показана аппроксимация эмпирической кривой распределения отклонений диаметра отверстия под статор в крышке с/пр.

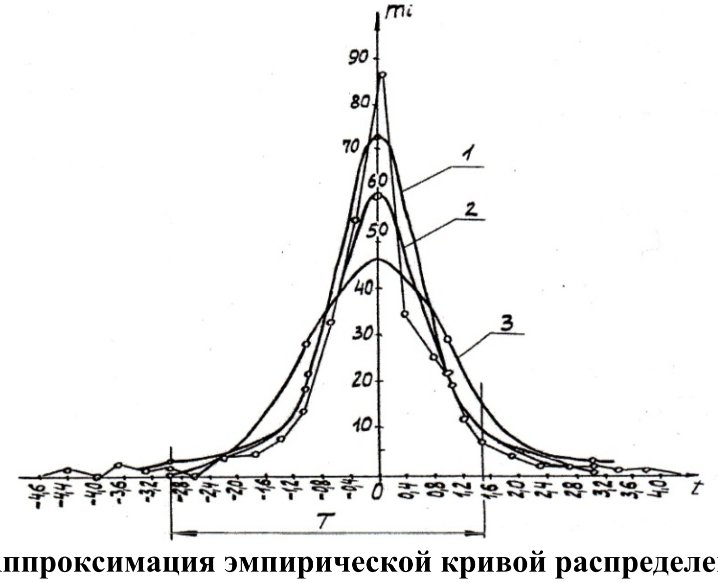

Рисунок 4 – Аппроксимация эмпирической кривой распределения отклонений диаметра отверстия под статор в крышке с/пр: 1 - закон Эджворта и Грамма-Шарлье (совпали); 2 - закон Пирсона; 3 - закон нормального распределения

Для удобства сравнения графического отображения законов нормального распределения, рядов Грама-Шарлье и Эджворта необходимо провести нормирование экспериментальных данных по формуле:

$$\frac{x_0 - x}{\sigma} = t; \quad (3)$$

а для расчета постоянных уравнений Пирсона - сдвиг кривой по оси абсцисс на х. Эти процедуры предусмотрены в машинной программе.

На графике по оси абсцисс будем откладывать величину *t* для построения кривой Пирсона в том же масштабе, что и другие теоретические кривые, значения абсцисс точек также приведем к нормированному виду, а начало отсчета для х будем выбирать в соответствии со справочником.

Координаты точек кривых можно рассчитать по следующим уравнениям, составленным на основе результатов реализации машинной программы (приложение, звено В2).

Уравнение кривой нормального распределения примет вид:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{t^2}{2}}; \qquad (4)$$

Решение уравнения Пирсона, определяемое выражением

$$y = 0{,}513 \cdot 10^7 \cdot \left|388{,}6 + 0{,}003 - 0{,}15x^2\right|^{-3{,}25} \cdot \exp\left[0{,}0009 \cdot arctg\left(0{,}02 - 0{,}0002\right)\right]; \qquad (5)$$

Для принятой точности расчетов уравнения будет иметь следующий вид:

$$y = 0{,}513 \cdot 10^7 \cdot \left|388{,}6 + 0{,}003 - 0{,}15x^2\right|^{-3{,}25}; \qquad (6)$$

Уравнение кривой для ряда Грама-Шарлье можно записать:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2x}} \cdot e^{\frac{t^2}{2}}\left(rgl + rg2 \cdot t + rg3 \cdot t^2 + rg4 \cdot t^3 + rg5 \cdot t^4\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{t^2}{2}}\left(1{,}5 + 0{,}00031 \cdot t - \cdot t^2 - 0{,}0001 \cdot t^3 + 0{,}17 \cdot t^4\right); \qquad (7)$$

Уравнение кривой для ряда Эджворта:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2x}} \cdot e^{\frac{t^2}{2}}\left(re1 + re2t - t^2 + re3 \cdot t^3 + re4 \cdot t^4 + re5 \cdot t^5\right) = \frac{1}{\sqrt{2x}} \cdot e^{\frac{t^2}{2}}\left(1{,}5 + 0{,}00031 \cdot t - t^2 + 0{,}001 \cdot t^3 + 0{,}17 \cdot t^4 + 5{,}27 \cdot 10^{-9} \cdot t^5\right); \qquad (8)$$

Уравнение Вейбула:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda_0 \cdot t^{\alpha}}; \; P(t) = \lambda_0 \cdot \alpha \cdot t^{\alpha - 1} \cdot e^{-\lambda_0 \cdot t^{\alpha}}. \qquad (9)$$

Анализ уравнений для построения кривых для рядов Грамма-Шарлье и Эджворта показывает, что при принятой точности расчета указанные кривые практически совпадут.

Координаты точек для построения кривых, рассчитанные по приведенным выше формулам, даны в таблице 2.

Таблица 2

Значения координат точек для построения кривых

Значение абсциссы (t)	Значение ординат (y)				
	Нормальное распределение	Ряд Грамма-Шарлье	Ряд Эджворта	Уравнение Пирсона	Уравнение Вейбула
0	48	72	72	60	56
±1	29	19	19	22	24
±3	0,5	2,4	2,4	1	1,2

Как видно из рисунка 4 (и что подтверждается результатами машинного счета), лучшую аппроксимацию всей эмпирической кривой дают ряды грамма-Шарлье и Эджворта, а худшую - закон нормального распределения.

При аппроксимации участка эмпирической кривой за верхней границей допуска лучшие результаты дают законы нормального распределения и Пирсона, а для участка эмпирической кривой до нижней границы допуска - ряды грамма-Шарлье и Эджворта, причем величина прогнозируемого брака в этом случае составляет 1,67 %, а не 0,173 %, что соответствует закону нормального распределения.

На рисунке 2 показана аппроксимация эмпирической кривой распределения значений радиального биения наружного диаметра ротора относительно шеек вала ротора под подшипники. Ниже приведены уравнения теоретических кривых, составленные по результатам реализации машинной программы (звено A_6).

Уравнение кривой нормального распределения:

$$P(t) = \lambda_0 \cdot \alpha \cdot t^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda_0 \cdot t^{\alpha}}. \tag{10}$$

Решение уравнения Пирсона:

$$y = 40 \cdot 10^{-19} \cdot |x + 46{,}9|^{0{,}62} \cdot |x - 211{,}07|^{6{,}27}. \tag{11}$$

Уравнение кривой закона распределения размахов:

$$y = 0{,}9 \cdot 10^{-8} \cdot e^{-0{,}53 \cdot 10^4 \cdot x^2} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{-0{,}13 \cdot 10^4 \cdot \eta^2} \left[\int_{\eta - \frac{x}{2}}^{\eta + \frac{x}{2}} e^{-0{,}13 \cdot 10^4} \cdot t^2 dt \right] d\eta. \tag{12}$$

Уравнение кривой для ряда Грама-Шарлье:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot (1{,}09 - 0{,}48 \cdot t - 0{,}19 \cdot t^2 + 0{,}16 \cdot t^3 + 0{,}03 \cdot t^4). \tag{13}$$

Уравнение кривой для ряда Эджворта:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot (0{,}9 - 0{,}48 \cdot t - 0{,}38 \cdot t^2 + 0{,}16 \cdot t^4 + 0{,}01 \cdot t^6). \tag{14}$$

Уравнение кривой для закона Вейбула:

$$y = 1 - e^{\lambda_0 \cdot t^{\alpha}}. \tag{15}$$

В отличие от предыдущего примера, учитывая несимметричность кривых, кроме кривой нормального распределения, и, как следствие, необходимость просчета большего числа точек, координаты точек теоретических кривых рассчитаны по машинной программе и даны в виде распечатки, при этом на печать выведены действительные значения абсцисс точек, а не нормированные значения.

В рассмотренном примере лучшую аппроксимацию всей эмпирической кривой дают кривая, характеризующая решение уравнения Пирсона, и ряд Грамма-Шарлье, а при аппроксимации участка эмпирической кривой, характеризующего количество бракованных деталей (x>120), лучшие результаты дают кривые, характеризующие решение уравнение Пирсона и закон распределения размахов.[2]

Из всего вышесказанного следует, что разработанный метод прогнозирования надежности достижения заданного точностного показателя позволяет значительно, в 4 ... 10 раз снизить ошибку прогноза, т.е. повысить достоверность прогноза за счет повышения точности аппроксимации эмпирических кривых отклонений размеров каждого составляющего звена СРЦ.

Зная в каждом конкретном случае теоретический закон, который дает лучшую аппроксимацию рассматриваемой эмпирической кривой, можно рассчитать для него значения относительного среднего квадратического отклонения λ и коэффициент относительной асимметрии α по известной методике. Уточненные значения коэффициентов λ и α, а также ширина поля рассеивания для каждого из выявленных 10 звеньев СРЦ даны в таблице 3.

Таким образом, применение новой методики и аналитических зависимостей позволяет значительно повысить точность расчета функционального показателя изделия за счет введения в расчетные формулы СРЦ уточненных значений относительного среднего квадратического отклонения λ и коэффициент относительной асимметрии α.

Таблица 3

Значения параметров λ, α, ω при аппроксимации эмпирических кривых распределения разными теоретическими законами

Звено СРЦ	Параметры λ, α, ω	Анализируемые эмпирические кривые распределения				
		Закон нормального распределения	Закон распределения размахов	Ряд Грамма-Шарлье	Ряд Эджворта	Система функций плотности Пирсона
А1	λ	0,333	-	0,297	0,295	0,297
	α	- 0,028	-	- 0,070	- 0,072	- 0,080
	ω	29,84	-	33,48	33,68	33,42
В1	λ	0,333	-	0,378	0,379	0,404
	α	- 0,009	-	- 0,077	- 0,078	-0,139
	ω	89,67	-	79,05	78,77	73,89
В2	λ	0,333	-	0,240	0,248	0,599
	α	0,018	-	0,034	0,070	0,034
	ω	161,23	-	223,86	216,23	89,66
В3	λ	0,333	0,529	0,362	0,340	0,445
	α	- 0,004	-0,166	0,388	0,652	0,742
	ω	244,67	91,02	133,12	141,60	108,28
Г1	λ	0,333	-	0,328	0,387	-
	α	0,056	-	- 0,230	-0,401	-
	ω	163,53	-	165,85	140,77	-
Г2	λ	0,333	-	0,262	0,261	0,257
	α	- 0,040	-	- 0,046	- 0,042	- 0,078
	ω	138,52	-	175,89	176,80	179,85
А5	λ	0,333	-	0,362	0,411	0,352
	α	- 0,004	-	- 0,282	- 0,380	- 0,498
	ω	555,60	-	511,41	450,84	525,44
А6	λ	0,333	0,391	0,376	0,420	0,460
	α	- 0,026	- 0,292	- 0,342	- 0,324	-0,514
	ω	189,99	161,77	168,37	150,83	137,44
А8	λ	0,333	-	0,297	0,295	0,297
	α	- 0,028	-	- 0,070	- 0,072	- 0,080
	ω	29,84	-	33,48	33,68	33,42
А10	λ	0,333	0,382	0,359	0,439	-
	α	- 0,012	- 0,200	- 0,458	- 0,490	-
	ω	197,38	172,22	182,97	149,81	-

Выводы

1. Теоретически разработан и экспериментального исследован новый метод прогнозирования надежности достижения заданного показателя в действующем процессе на базе использования различных выявленных математических законов распределения и реализации нестандартной машинной программы, которая позволяет оптимизировать теоретический

закон, дающий лучшую аппроксимацию как всей эмпирической кривой, так и ее участков, характеризующих брак, что позволило в целом существенно повысить достоверность прогноза.
2. Разработан алгоритм машинной программы для реализации нового метода прогнозирования надежности достижения заданного точностного показателя.
3. Разработан алгоритм машинной программы для расчета коэффициентов, используемых при расчете размерных цепей с учетом выбранного теоретического закона для аппроксимации рассматриваемой эмпирической кривой.
4. Рассчитаны по нестандартной машинной программе уточненные значения относительного среднего квадратического отклонения Х и коэффициента относительной асимметрии а для звеньев сборочной размерной цепи, что позволило повысить точность расчета функционального показателя изделия.
5. Предложена оценка согласия эмпирического распределения и теоретического, удобная для практического применения.
6. Отработана система машинных программ, подготовленная для передачи на вычислительный центр предприятия для практического использования.
7. Показано, что дифференциальное уравнение, определяющее систему кривых плотности Пирсона, обобщает распределения Фишера, Стьюдента, Парето, x^2 -распределения, β-распределения и нормального распределения.

Литература

1. Копылов Л.В. "Повышение точности и надежности прогноза показателей ТС с учетом интенсивности временного дрейфа".
2. Дащенко А.И., Копылов Л.В. и др. "Технология двигателестроения"-Учебник для Вузов. М., "Высшая школа"-2006 г.

Влияние метода формообразования зубьев и формы припуска под отделочную обработку на точность обрабатываемых зубчатых колес

к.т.н. проф. Виноградов В.М., Швычков Д.В.
МГТУ «МАМИ»
(495) 223-05-23, доб. 1068

Аннотация. Описываются возможности улучшения точности и производительности зубообрабатывающих операций за счет изменения формы припуска.

Ключевые слова: *зубонарезание, точность зубчатых колес, повышение производительности, шевингование, протягивание.*

В условиях производства зубчатых колес для автомобилестроения приоритетной задачей является повышение производительности процесса обработки при сохранении требуемой точности зубчатого колеса.

Формообразование зубьев цилиндрических колес на предварительных этапах может осуществляться различными методами (обкатки, огибания и копирования), что ведет к изменению формы припуска на отделочную обработку. Наиболее часто имеют место равномерный или клиновой припуск. Первый получается при выполнении операций, основанных на методе обката, второй – после операций, основанных на методе копирования. Зависимость формы припуска под последующую обработку от метода формообразования зубьев можно объяснить тем, что при методе обката установочные перемещения производящего контура инструмента не влияет на погрешность профиля зуба, а только вызывает изменение толщины последнего. При методе копирования в этом случае возникает как изменение толщины зубьев, так и искажение профиля их боковых сторон.

Профиль зубьев обрабатываемого колеса, имеющий клиновой припуск, дает возмож-