

## КОМПОЗИЦИЯ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕКТОРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ДЕЙСТВУЮЩИХ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

© 2011 Е. Ю. Исмайлова

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

Рассмотрены законы распределения вектора, выражающего сумму производственных погрешностей, действующих при многокоординатной обработке на станках с числовым программным управлением.

*Систематическая ошибка, композиция законов распределения, погрешность, многокоординатная обработка.*

При обработке заготовок на металло-режущих станках с числовым программным управлением требуется обеспечить заданную конструкторской документацией точность геометрических параметров детали, так как от них зависит в дальнейшем качество сборки изделия и, следовательно, эксплуатационные показатели сборочной единицы. Геометрическая точность детали характеризуется:

- точностью размеров, которая определяется величиной допуска по соответствующему качеству;
- точностью формы и взаимного расположения поверхностей, которые определяются техническими требованиями чертежа.

При обработке нескольких поверхностей заготовки с одного установка заданные требования обеспечиваются формообразованием детали, которое при обработке на станках с ЧПУ представляет собой последовательность перемещений режущего инструмента относительно заготовки, заданную в виде управляющей программы (УП).

Управляющая программа содержит последовательность геометрических и технологических команд на языке программирования. Последовательность перемещений рабочих органов станка для обработки конкретной заготовки определяется геометрическими командами, содержащими информацию о направлении и величине перемещений. При программировании в абсолютных координатах в кадре управляющей программы указываются координаты конца отрезка траектории инструмента, например (рис. 1):

N5 G01 X+100.0 Y-75.0 (в т.1)

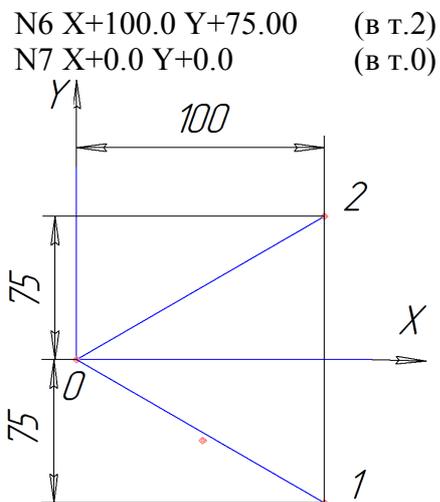


Рис. 1. Элементы траектории перемещения инструмента 0-1-2-0

Основанием для расчета УП являются размеры детали, заданные в чертеже, т.е. при программировании перемещений между опорными точками размерные связи с чертежа детали переводятся в размерные связи управляющей программы.

Запрограммированная информация считывается, преобразуется, передается, воздействуя на исполнительные механизмы станка, что приводит к функционированию рабочих органов станка в соответствии с управляющей программой. Таким образом, обработка на станках с ЧПУ представляет собой управление совокупностью взаимосвязанных и взаимодействующих электрических, механических, автоматических устройств.

Процесс автоматического управления, так же как и процессы механической обра-

ботки, неизбежно сопровождается производственными погрешностями, которые имеют систематический и случайный характер. Источниками производственных погрешностей являются:

- станок с ЧПУ;
- устройство числового программного управления;
- приспособление для установки и закрепления заготовки;
- режущий инструмент;
- обрабатываемая заготовка;
- метод обработки.

При обработке каждой заготовки создается своя комбинация погрешностей, что приводит к рассеиванию действительных параметров обработанной партии заготовок. Геометрические параметры детали задаются разными способами, но приведение их к векторной форме позволяет выявить неразрывную размерную связь как на плоскости (при управлении по двум координатам), так и в

пространстве (при многокоординатной обработке). Выявление размерных связей, определение предельных и вероятных значений области рассеивания действительных параметров деталей выполняются с помощью размерных цепей.

При формообразовании в одной координатной плоскости, например  $XOY$ , действующие производственные погрешности можно рассматривать как составляющие звенья плоскостной векторной цепи, в которой замыкающим звеном будет результирующий вектор  $\bar{R}_1$ , характеризующий суммарную погрешность обработки.

При многокоординатной обработке размерные связи образуют пространственную размерную цепь и, соответственно, результирующую погрешность представит вектор  $\bar{R}$  – замыкающее звено пространственной векторной цепи (см. рис. 2).

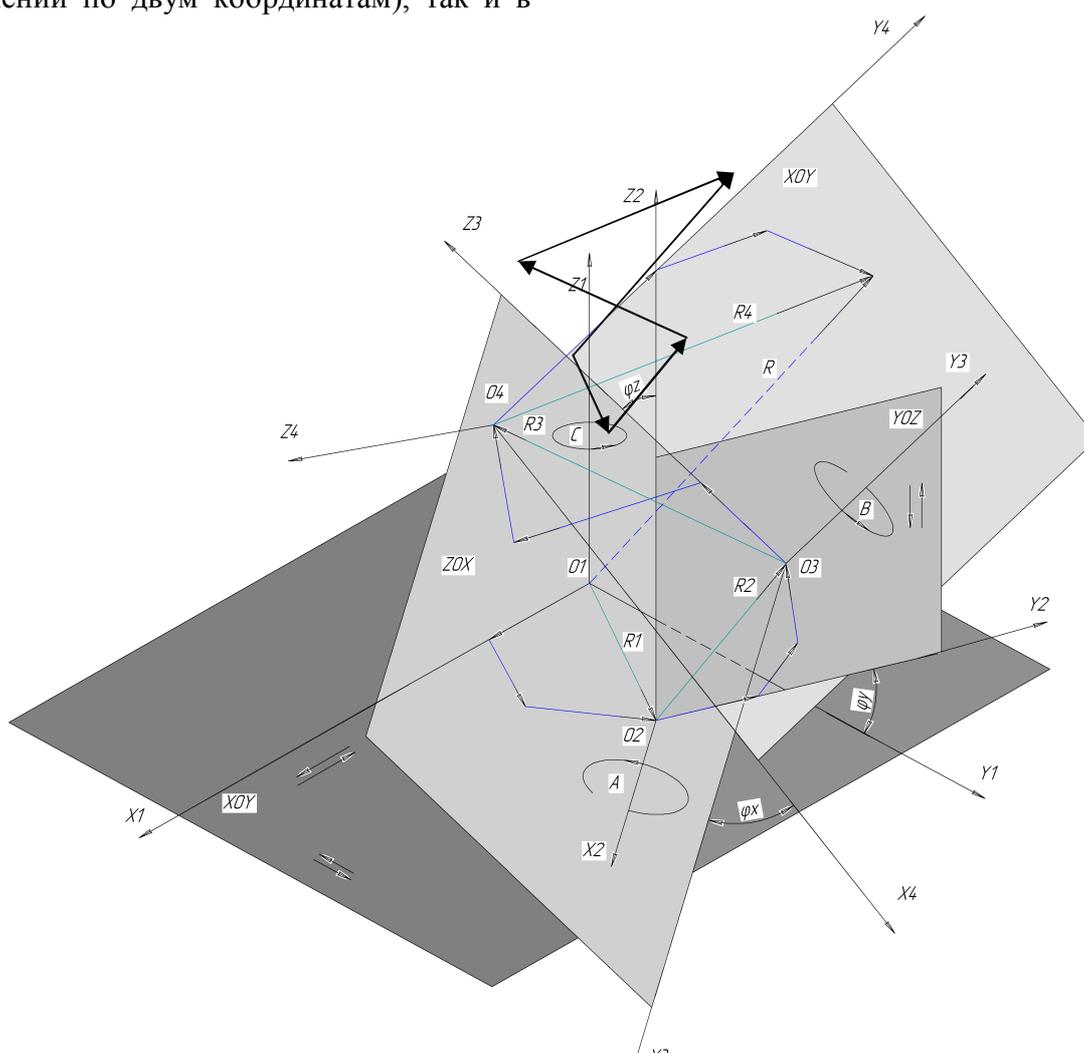


Рис.2. Пространственная векторная цепь при использовании на станке с ЧПУ шести координат

Так как составляющие пространственную цепь векторы  $\bar{R}_1, \bar{R}_2, \bar{R}_3 \dots$  являются суммой случайных и систематических погрешностей, то распределение каждого из них должно быть композицией законов распределения, которым подчиняются слагаемые векторные погрешности. На каждый момент хода технологического процесса закон распределения случайной составляющей будет нормальным, так как ее появление зависит от большого числа случайных причин:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

В формуле (1) величина « $\sigma$ » выражает меру рассеивания случайной погрешности, параметр « $a$ » определяется значением систематической погрешности [1]. В процессе обработки партии заготовок в автоматическом режиме величина систематической погрешности изменяется от  $a_0$  до  $a_1$ , где

$$a_1 = a_0 + b. \quad (2)$$

Изменение систематической погрешности во времени близко к линейному [1], поэтому можно считать, что все значения  $a$  в интервале от  $a_0$  до  $a_1$  равновероятны, т.е. систематическая погрешность распределяется по закону равномерной плотности:

$$f(a) = \frac{1}{a_1 - a_0}, \quad (3)$$

где  $a_0 \leq a \leq a_1$ .

Тогда закон распределения суммарного вектора в плоскостной размерной цепи ( $\bar{R}_1, \bar{R}_2, \bar{R}_3 \dots$  на рис.2) можно рассматривать как композицию нормального закона случайных составляющих и закона равномерного распределения систематических составляющих суммарной погрешности для одной координатной плоскости [1]:

$$f(r) = \frac{1}{b\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{a_0}^{a_1} e^{-\frac{(r-a)^2}{2\sigma^2}} da. \quad (4)$$

Характер распределения будет зависеть от соотношения систематической и случайной составляющей композиции законов распределения (рис.3).

На рис. 3 величина  $\omega$  характеризует суммарное поле рассеивания погрешностей вектора  $\bar{R}_i$ ;  $\sigma_m$  - мгновенное распределение

погрешностей, которое перемещается с течением времени обработки к противоположной границе поля рассеивания;  $b$  - интервал изменения систематической погрешности.

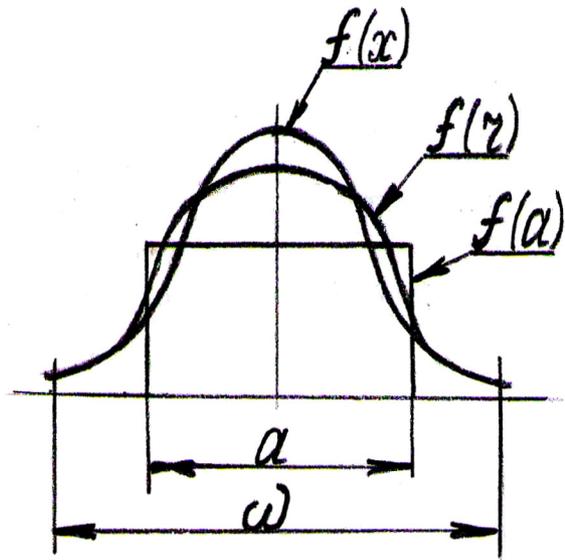
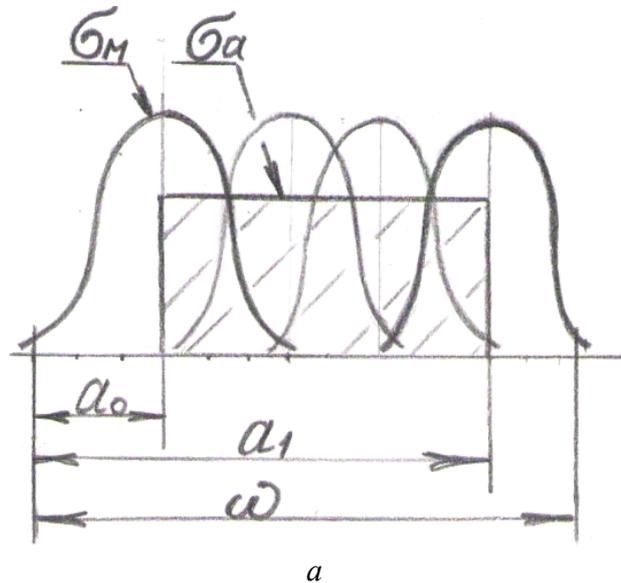


Рис.3. Графики плотности вероятности

Отношение систематических погрешностей к общему полю рассеивания производственных погрешностей характеризуется величиной  $\mu$ .

$$\mu = \frac{a}{\omega}, \quad (5)$$

где  $a$  – величина поля рассеивания систематической погрешности;  $\omega$  – величина общего поля рассеивания производственной погрешности.

При  $\mu=0$  систематическая погрешность  $a$  равна нулю, следовательно, характер распределения погрешностей – нормальный, подчиненный закону Гаусса.

При малых значениях  $a$  по сравнению с  $\omega$  график плотности композиции мало отличается от нормальной кривой с дисперсией, равной сумме дисперсий компонент, тогда в порядке приближения:

$$f(r) = \frac{1}{\sigma_1 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{r^2}{2\sigma_1^2}}, \quad (6)$$

где [3]

$$\sigma_1 = \sqrt{\sigma^2 + \frac{a}{3}}. \quad (7)$$

При  $\mu=1$  систематическая составляющая закона распределения  $a$  равна полю рассеивания  $\omega$ , т.е. погрешности распределены по равномерному закону.

Числовое значение величины  $\mu$  для разных видов обработки и условий производства различно. С помощью статистических исследований определено, что в большинстве случаев  $\mu=0,3...0,4$  [1].

Возможное положение суммарного вектора  $\bar{R}_i$ , кроме скалярных величин, характеризуется также угловой погрешностью  $\Delta\varphi$ .

Угол наклона вектора к оси координат будет принимать равновероятные значения в пределах  $(-\pi; +\pi)$  при систематической составляющей  $a$ , равной нулю.

С появлением систематической погрешности  $a$  распределение углов наклона не будет равновероятным: вероятность получения погрешностей  $\bar{R}_i$ , направленных в сторону вектора  $\bar{a}$ , будет больше, чем направленных в противоположную сторону [2]. При возрастании систематической составляющей, т.е. при  $a \rightarrow \omega$  и, следовательно,  $\mu=1$  кривая распределения угла наклона вектора к оси координат будет изменять форму (рис. 4).

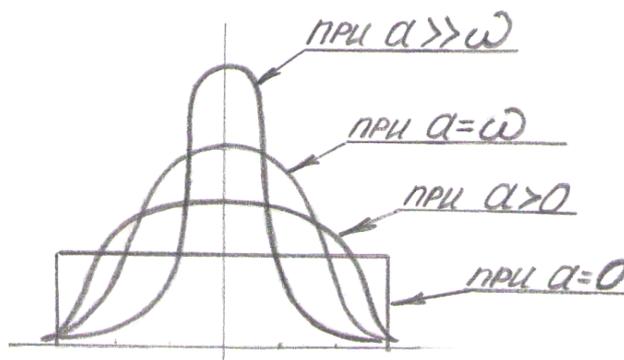


Рис.4. Форма кривых плотности распределения угла наклона вектора к оси координат

Закон распределения замыкающего вектора  $\bar{R}$  пространственной размерной цепи, который характеризует суммарную пространственную погрешность при многокоординатной обработке, представит композицию законов, по которым распределяются векторы - составляющие звенья и углы, определяющие положение координатных систем составляющих векторов относительно друг друга. Закон распределения для пространственного вектора будет функцией нескольких аргументов, поэтому для нахождения вероятностных характеристик суммарного вектора на практике можно произвести моделирование процесса обработки. Используя вероятностно-статистические методы, можно определить вероятность попадания суммарной погрешности в допустимые пределы и, при необходимости, осуществить корректировку параметров технологической системы.

### Библиографический список

1. Демин, Ф.И. Расчеты точности геометрических систем и моделей [Текст] / Ф.И. Демин // Основы теории точности машин и приборов. С-Пб: Наука, РАН Институт проблем машиноведения, 1993. - С.87 – 125.
2. Федорченко, Г.П. Суммирование векторных погрешностей [Текст] / Г.П. Федорченко // Изв. вузов. Сер. «Авиационная техника», 1962. №1. - С.105 – 115.
3. Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. Для технических приложений [Текст] / Н.В. Смирнов, И.Д. Дунин-Барковский. - М.: Наука, 1969. - 512 с.

**COMPOSITION OF THE LAWS OF DISTRIBUTION OF THE VECTOR ERRORS, WHICH ACT WITH THE WORKING ON THE MACHINE TOOLS WITH THE NUMERICAL CONTROL BY PROGRAM**

© 2011 E. Yu. Ismaylova

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

The examined laws of distribution of a vector, which expresses the sum of the manufacturing errors under processing on the machine tools with the numerical control by program.

*Systematic errors, casual errors, composition of laws of distributions, distribution of an angular error.*

**Информация об авторах**

**Исмайлова Елена Юрьевна**, заведующая отделением технологии машиностроения авиационного техникума, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 995-21-99, (846) 959-47-34. E-mail: [iselena-U@yandex.ru](mailto:iselena-U@yandex.ru). Область научных интересов: точность обработки сложных поверхностей на станках с числовым программным управлением.

**Ismaylova Elena Yuryevna**, Managing branch «Technology of mechanical engineering» of Aerospace technical school, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 995-21-99, (846) 959-47-34. E-mail: [iselena-U@yandex.ru](mailto:iselena-U@yandex.ru). Area of research: The working on the machine tools with the numerical control by program.