

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
"Воронежский государственный технический университет"

**Кафедра**

автоматизированного оборудования  
машиностроительного производства

**ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТ**

**Методические указания**

к выполнению контрольных работ  
для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение»,  
профиля «Технологии, оборудование,  
автоматизация машиностроительных производств»  
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.01 (07)

ББК 34.5 я7

**Составители:**

д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин

канд. техн. наук, доц. М. Н. Краснова

**Процессы формообразования и инструмент:** методические указания к выполнению контрольных работ для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиля «Технологии, оборудование, автоматизация машиностроительных производств» всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"; сост.: С. Ю. Жачкин, М. Н. Краснова. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 13 с.

Приводятся сведения, необходимые для выполнения контрольных работ при изучении дисциплины «Процессы формообразования и инструмент».

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиля «Технологии, оборудование, автоматизация машиностроительных производств» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ.КР.ПФиИ.pdf.

Табл. 2. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

**УДК 621.01 (07)**

**ББК 34.5 я7**

*Издается по решению редакционно-издательского совета  
Воронежского государственного технического университета*

**Рецензент** – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры автоматизированного оборудования машиностроительного производства ВГТУ

## **Введение**

В предлагаемых методических указаниях приводятся сведения, необходимые для выполнения контрольных работ при изучении дисциплины «Процессы формообразования и инструмент».

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ**

## ***1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ***

Познакомить студентов с математическими методами анализа точности размерных параметров детали при выполнении механической операции ее формообразования.

## ***2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ***

При обработке заготовок на настроенном станке в результате действия постоянных и непрерывно изменяющихся факторов, полученные детали по размерам и форме отличаются друг от друга и от номинальных параметров, указанных на чертеже.

Разброс контролируемых параметров детали характеризуется, прежде всего, величиной поля рассеивания.

$$\omega = A^{\text{НВ}} - A^{\text{НМ}},$$

где  $A^{\text{НВ}}$  и  $A^{\text{НМ}}$  - соответственно наибольшее и наименьшее значения исследуемого параметра.

Независимо от природы возникновения погрешности, проявляющиеся в ходе выполнения технологического процесса, можно разделить на три вида: систематические постоянные, систематические закономерно изменяющиеся и

случайные. Систематические постоянные погрешности не изменяются при обработке одной заготовки или нескольких партий заготовок. Систематические закономерно изменяющиеся погрешности могут влиять на точность обработки непрерывно или периодически. Знание закона изменения этих погрешностей позволяет принимать меры для их устранения или уменьшения при проектировании технологического процесса. Случайные погрешности возникают в результате действия большого количества несвязанных между собой факторов. Определить заранее момент появления и точную величину этой погрешности для каждой детали в партии не представляется возможным; тем не менее с помощью аналитических расчетов или экспериментальных исследований можно установить пределы изменения этой погрешности.

При анализе точности процесса формообразования детали приходится рассматривать как систематические, так и случайные погрешности обработки.

Исследование случайных погрешностей основывается на выводах теории вероятности и математической статистики. При изучении случайных погрешностей изготовления удобно пользоваться кривыми распределения, которые строятся на основании многократных наблюдений одного и того же явления. По эмпирическим кривым распределения можно в первом приближении оценить, какому из известных законов распределения ближе всего соответствует распределение случайной погрешности.

Метод построения кривых распределения позволяет осуществлять исследование точности обработки законченного этапа технологического процесса, но при этом не может быть учтена последовательность обработки заготовок, так как все заготовки данной партии как бы перемешиваются. При этом закономерно изменяющиеся погрешности не отделяются от случайных и учитывается их совокупное влияние на точность выполняемого параметра качества.

Статистический метод исследования точности обработки с построением точечных диаграмм свободен от этих недостатков и позволяет исследовать технологический процесс значительно глубже, чем метод кривых распределения;

при этом оказывается возможным разделить влияние случайных и систематических погрешностей (как постоянных, так и закономерно изменяющихся).

## *2.1. КРИВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НА ИХ ОСНОВЕ*

Как показали многочисленные исследования, распределение погрешностей, изучение которых предусматривается при выполнении лабораторной работы, ближе всего соответствует закону нормального распределения. Построение эмпирических кривых распределения случайных погрешностей, подчиняющихся закону нормального распределения, обычно выполняется в следующей последовательности.

По результатам измерения определяется разность между наибольшим и наименьшим размерами (размах варьирования или широта размаха), которая разбивается на несколько равных интервалов.

Количество интервалов выбирается в зависимости от числа измерений. Определяется частота  $m_i$  - количество измерений, размеры которых попали в каждый интервал, или частость - отношение частоты  $m_i$  к общему количеству измерений  $N$ .

На оси абсцисс откладываются отрезки, соответствующие размеру принятого значения интервала, посередине каждого из них откладываются ординаты, пропорциональные частоте или частости.

Вершины ординат соединяются прямыми линиями.

Построенная, таким образом, эмпирическая кривая распределения носит название практической кривой распределения или полигона распределения.

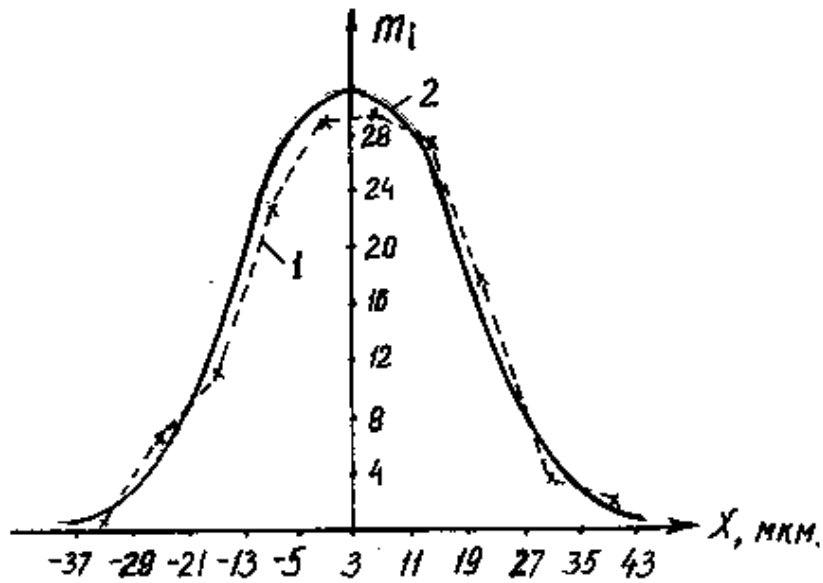


Рис. 1. Практическая и теоретическая кривые распределения:

- 1 – практическая кривая распределения;
- 2 – кривая нормального распределения.

По мере увеличения количества измерений эмпирическая кривая распределения 1 все более приближается к теоретической кривой нормального распределения 2 (рис. 1).

Для непрерывных случайных величин уравнение кривой нормального распределения может быть выражено в следующем виде:

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

где  $\sigma$  - среднее квадратическое отклонение;

$\alpha$  - среднее арифметическое аргумента;

$e$  - основание натуральных логарифмов.

Постоянные величины  $\alpha$  и  $\sigma$  называются параметрами распределения.

Если центр группирования кривой нормального распределения совпадает с началом координат, то аналитическое выражение кривой приобретает следующий вид:

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

При экспериментальных исследованиях, когда число опытов ограничено, аналитически рассчитать величину случайной погрешности не представляется возможным, поэтому определяются ее приближенные значения, а именно: среднее арифметическое значение случайной погрешности  $\bar{x}$  и эмпирическое среднее квадратическое отклонение  $\sigma$ .

Для упрощения расчетов часто значение случайной погрешности определяют по средним размерам интервалов и частотам попадания этих значений в каждый интервал

$$\bar{x} = \frac{\sum x_{cp_i} m_i}{N} \quad (3),$$

где  $x_{cp_i}$  - среднее значение интервала;

$m_i$  - частота попаданий размера в интервал.

Эмпирическое среднее квадратическое отклонение определяется из уравнения

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_{cp_i} - \bar{x})^2 m_i}{N}} \quad (4),$$

При расчете параметров  $\bar{x}$  и  $\sigma$  не исключается возможность появления ошибки в их определении, если при проведении опытов имели место грубые ошибки, которые своевременно не были выявлены и исключены из результатов

опытов. Грубые ошибки в проведении опытов обычно заключаются в том, что отдельные значения результатов измерений существенно отличаются от среднего значения всей серии опытов.

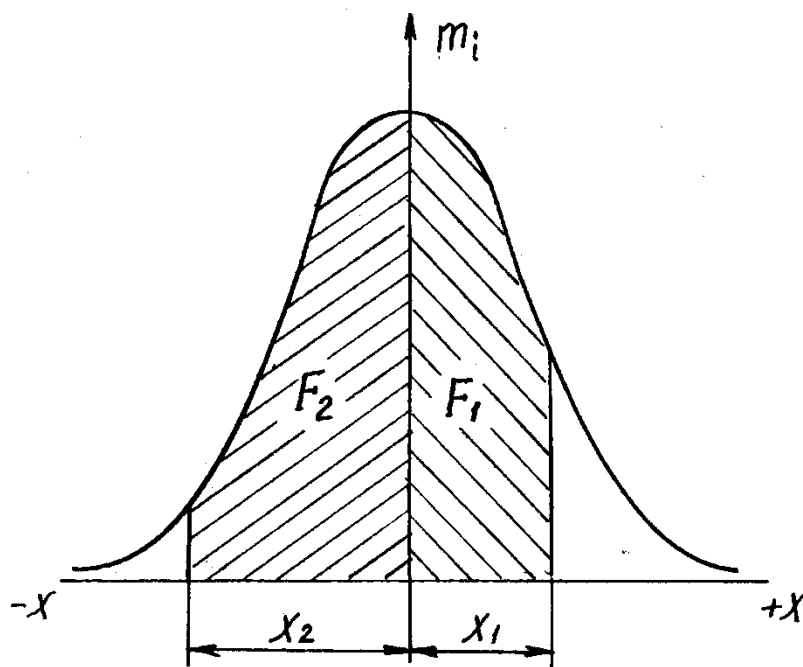


Рис. 2. Графическое изображение количества годных деталей в партии в виде площадей, заключенных между осью абсцисс и кривой Гаусса.

Если всю площадь кривой нормального распределения принять за 100 %, то заштрихованная часть (см. рис. 2) будет выражать ту долю отклонений случайной величины, которая укладывается в заданные пределы.

Поэтому можно считать, что если предельные отклонения равны  $x_1 = +3\sigma$  и  $x_2 = -3\sigma$ , то количество изделий отклонения размеров которых лежат внутри допустимого интервала равно 99,73 % от общего количества обработанных при данной настройке деталей. Количество же деталей, выходящих за эти пределы (так называемый "процент риска", составляет 0,27 % общего количества).



Процент риска при  $x = \pm 2\sigma$  равен 4,5%, при  $x = \pm \sigma$  - 3,2%.

Пользуясь кривой нормального распределения можно найти вероятное количество годных деталей, на размер которых установлен определенный допуск. Предположим, что поле допуска  $\delta$  установлено двумя размерами  $x_1$  и  $x_2$ , которые представляют собой отклонения предельных размеров от центра группирования. Вероятное количество годных деталей в этом случае будет пропорционально заштрихованной площади  $F_1$  и  $F_2$  (рис. 2). Аналитически оно может быть найдено из выражения:

$$F' = \frac{n}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx \quad (5).$$

Если принять  $x/\sigma = t$ , то вышеприведенные интегралы можно представить в виде функции  $\Phi(t)$ :

$$\begin{aligned} F_1 &= 0,5\Phi(t_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \\ F_2 &= 0,5\Phi(t_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \end{aligned} \quad (6)$$

Значения функции  $\Phi(t)$  через десятую долю аргумента приведены в табл. 2.

## 2.2. ТОЧЕЧНЫЕ ДИАГРАММЫ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НА ИХ ОСНОВЕ

Метод исследования точности, основанный на построении точечных диаграмм заключается в следующем. По оси абсцисс откладываются номера обработанных деталей в той последовательности, как они сходят со станка, а по оси ординат в виде точек откладываются результаты замеров деталей (рис.3).

Применение метода точечных диаграмм позволяет выявить общую тенденцию изменения результатов с увеличением номеров деталей с течением времени.

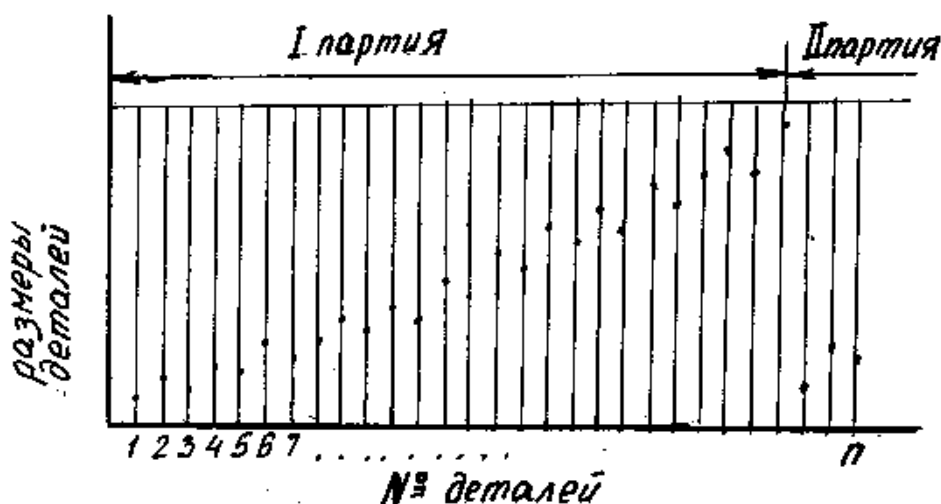


Рис. 3. Точечная диаграмма

Точечные диаграммы можно строить не только для одной партии заготовок, но и для нескольких последовательно обрабатываемых партий, при этом партии разбиваются на группы по несколько штук последовательно обрабатываемых заготовок в каждой группе. Тогда по оси абсцисс откладываются не номера заготовок (проб), а номера групп, но при этом рассеивание таких групповых средних (средних арифметических значений размеров заготовок, входящих в группу) будет меньше, чем рассеивание размеров отдельных заготовок.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Измерить 100 последовательно обработанных валов на настроенном токарно-винторезном станке модели 16К20.

Результаты измерений размеров последовательно обработанных деталей сводятся в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений размеров

№ п/п	1	2	3	.....	100
Размер $x_i$					

2. По данным измерений построить точечную диаграмму.

3. Произвести расчеты, необходимые для построения практической кривой распределения (см. п. 2.1).

4. Построить практическую кривую или полигон распределения.

5. На практической кривой построить кривую нормального распределения по точкам со следующим значением абсцисс:

$$x_1 = A - A_{cp} = 0; \quad x_2 = \pm 0,5\sigma; \quad x_3 = \pm\sigma;$$

$$x_4 = \pm 2\sigma; \quad x_5 = \pm 3\sigma.$$

Соответствующие ординаты подсчитать по уравнению (1)

6. По заданному преподавателем полю допуска на контролируемую величину, определить количество годных деталей аналитически по формуле (5) и эмпирически, используя таблицу 2. Сравнить результаты. Критерий  $t$  при расчетах округлять до сотых долей, значение  $\Phi(t)$  выбирать методом интерполяции.

Вероятность брака в процентах определяется по выражению

$$p = [1 - (F_1 + F_2)] \cdot 100$$

Таблица 2

Значения функции  $\Phi(t)$

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
0	0	1,2	0,7699	2,4	0,9836
0,1	0,0797	1,3	0,8064	2,5	0,9876
0,2	0,1585	1,4	0,8385	2,6	0,9907
0,3	0,2358	1,5	0,8664	2,7	0,9931
0,4	0,3108	1,6	0,8904	2,8	0,9949
0,5	0,3829	1,7	0,9109	2,9	0,9963
0,6	0,4515	1,8	0,9281	3	0,9973
0,7	0,5161	1,9	0,9426	3,1	0,99806
0,8	0,5763	2	0,9545	3,2	0,99862
0,9	0,6319	2,1	0,9643	3,3	0,99903
1	0,6827	2,2	0,9722	3,4	0,99933
1,1	0,7287	2,3	0,9786	3,5	0,99953

#### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Наименование работы.
2. Оборудование и измерительные приборы.
3. Эскиз обработки.
4. Таблицы результатов измерений.
5. Расчетные значения для построения практической кривой (полигона) распределения.
6. Точечная диаграмма.
7. Практическая кривая распределения и кривая нормального распределения.
8. Расчет количества годных деталей при обработке.
9. Выводы.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учебник для машиностроительных вузов по специальности "Технология машиностроения, металло-режущие станки и инструменты"/ А. А. Маталин. - Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1985. – 496 с.
2. ГОСТ 16467-70. Статистические показатели точности и стабильности технологических операций. - М.: Изд-во стандартов, 1971. – 20 с.
3. Солоний, И. С. Математическая статистика в технологии машиностроения/ И. С. Солоний. - М.: Машиностроение, 1972. - 215 с.

## Оглавление

Введение.....	3
ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ.....	3
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	3
2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	3
2.1. КРИВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НА ИХ ОСНОВЕ .....	5
2.2. ТОЧЕЧНЫЕ ДИАГРАММЫ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ НА ИХ ОСНОВЕ.....	9
3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ .....	10
4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	12
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	12

## ПРОЦЕССЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТ

### Методические указания

к выполнению контрольных работ  
для студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение», профиля  
«Технологии, оборудование, автоматизация  
машиностроительных производств»  
всех форм обучения

Составители

**Жачкин Сергей Юрьевич**

**Краснова Марина Николаевна**

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 28. 04. 2021.

Уч.-изд. л. 0,8.

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный  
технический университет"  
394026 Воронеж, Московский просп., 14