

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

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)  
Кафедра машиностроительных технологий и оборудования



**РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СТАНКА ПУТЕМ  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАПАСА НАДЕЖНОСТИ**

Методические указания к практическим и лабораторным занятиям

студентов направления подготовки 15.04.05  
и аспирантов направления подготовки 15.06.01

УДК 621.9.06

Составитель: Е.И.Яцун

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *С.А.Чевычелов*

**Расчет показателей качества станка путем определения запаса надежности:** методические указания к практическим занятиям для студентов направления 15.04.05/ ЮЗГУ; сост. Е. И. Яцун. - Курск: ЮЗГУ, 2016. - 26 с: ил. 3, табл. 2, ил. 3. Прилож. 1. Библиогр.: с. 14.

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. Определяется запас надежности станка.

Предназначены для студентов направления 15.04.05, 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.
<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>4</b>
<b>1 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТАНКА</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Основная цель испытаний</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Выходные параметры токарного станка</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Параметры траекторий движения суппорта токарного станка</b>	<b>7</b>
<b>2 ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИЙ УЗЛОВ СТАНКА</b>	<b>10</b>
<b>3 ЗАДАНИЕ</b>	<b>12</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>14</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ</b>	<b>15</b>

## ВВЕДЕНИЕ

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 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТАНКА

В качестве выходных параметров принимаются показатели точности движений формообразующих узлов станка. Эти движения характеризуются траекториями точек станка, расположенных на посадочных поверхностях станка, предназначенных для крепления приспособления, заготовки, инструмента, то есть установочные базы, контактирующие с технологическими базами заготовки.

*Входные параметры* варьируются при испытании станка. К ним относятся величины и направление внешних сил, скорости и законы перемещения узлов станка, тепловые воздействия и др.

Основными *выходными параметрами* станка как элемента технологической системы являются характеристики точности осуществления заданных движений узлов, несущих инструмент и заготовку, то есть формообразующих узлов.

### 1.1 Основная цель испытаний

*Основная цель испытаний* станка – *оценить* сопротивляемость станка спектру внешних воздействий в виде эксплуатационных нагрузок и *выявить* области состояний выходных параметров.

*Область состояний* – это область, в которой с заданной вероятностью находятся регламентированные выходные параметры станка. В результате определяется запас надежности станка.

*Запас надежности* – это отношение допустимых значений, определяющих область работоспособности, к фактическим значениям.

При испытании станка *области состояний* сравниваются с соответствующими *областями работоспособности*, то есть с областью допустимых значений выходных параметров.

Выходные параметры станков приведены в приведенной ниже таблице 1.

Если при каждом цикле испытаний осуществлять различные сочетания входных параметров (например, по методу Монте-Карло), то реакция станка на эти воздействия позволит оценить входные параметры станка в вероятностном аспекте. Таким образом, в качестве варьируемых параметров используется априорная и статистическая информация об эксплуатационных нагрузках и условиях работы станков данного технологического назначения.

## 1.2 Выходные параметры токарного станка

Таблица 1

Выходные параметры токарного станка

Узел	Положение опорных точек	Выходной параметр	Характеристика параметра траектории	Отклонения геометрических параметров обработанной детали	Класс точности станков			
					Н	П	В	А и С
Суппорт	Совпадает с вершиной резца	$x_1 = x_p$ $x_2 = \Delta x$	Размах траектории	Точность радиального размера	×	×	×	×
		$x_3 = \Delta z$	Координата начала траектории	–				
		$x_4 = \text{tg } \beta$	Координата конца траектории	Точность осевого размера		×	×	×
		$x_5 = \text{tg } \alpha_{\max}$	Средний наклон траектории	Конусообразность	×	×	×	×
		$x_6 = T$	Наибольший наклон траектории	Бочкообразность		×	×	×
		$x_7 = \alpha_\omega$	Шаг периодических волн	Седлообразность			×	×
			Амплитуды высокочастотных составляющих траектории	Волнистость в продольном направлении				×
			Шероховатость			×	×	

Шпиндель	Координаты характеристического вектора R	$x_8 = C_{0a}$	Среднее значение координаты	Точность радиальных размеров	×	×	×	×
		$x_9 = C_{1a}$	Эксцентриситет вращения	Точность расположения поверхности	×	×	×	×
	a	$x_{10} = C_{2a}$	Коэффициенты разложения Фурье: второго члена	Овальность	×	×	×	×
		$x_{11} = C_{3a}$						
	b	$x_{12} = C_{4a}$	членов, начиная с четвертого	Многогранность (четырёхгранность и выше)	×	×	×	×
		$x_{13} = C_{na}$						
		$x_{14} = C_{ma}$	m-го члена (m>n)	Шероховатость	×	×	×	×
		$x_{15} = C_{0b}$						
Задняя бабка	В вершине центра	$x_{16} = C_{1b}$		Отклонение от плоскостности торца	×	×	×	×
		$x_{17} = C_n$						
Взаимное положение в движении	α	$x_{18} = \alpha_{max}$	Наклон вектора в плоскости XZ	Конусообразность	+	+	+	+
		$x_{19} = \Delta x$	Смещение центра	Точность шага при резьбонарезании	×	×	×	×
		$x_{20} = \Delta u_1$	Погрешность передаточного отношения: шпинделя и суппорта	Точность фасонных поверхностей	×	×	×	×
		$x_{21} = \Delta u_2$	продольного и поперечного суппорта	Конусообразность	×	×	×	×
		$x_{22} = \text{tg } \beta_0$	Угол между осью шпинделя (вектором R) и направлением суппорта					

Примечание: × - учитываемый параметр

### 1.3 Параметры траекторий движения суппорта токарного станка

Параметры траекторий выбираются в принятой системе координат.

Испытание состоит из большого числа циклов ( $N=100\dots150$ ), отражающих весь спектр эксплуатационных воздействий на станок – силовых и тепловых факторов работающего станка, имеющих вероятностную природу.

Рассмотрим пример траекторий поступательного движения суппортов, столов, ползунов станков, то есть формообразующих узлов, которые влияют на точность обработки (рис.1):

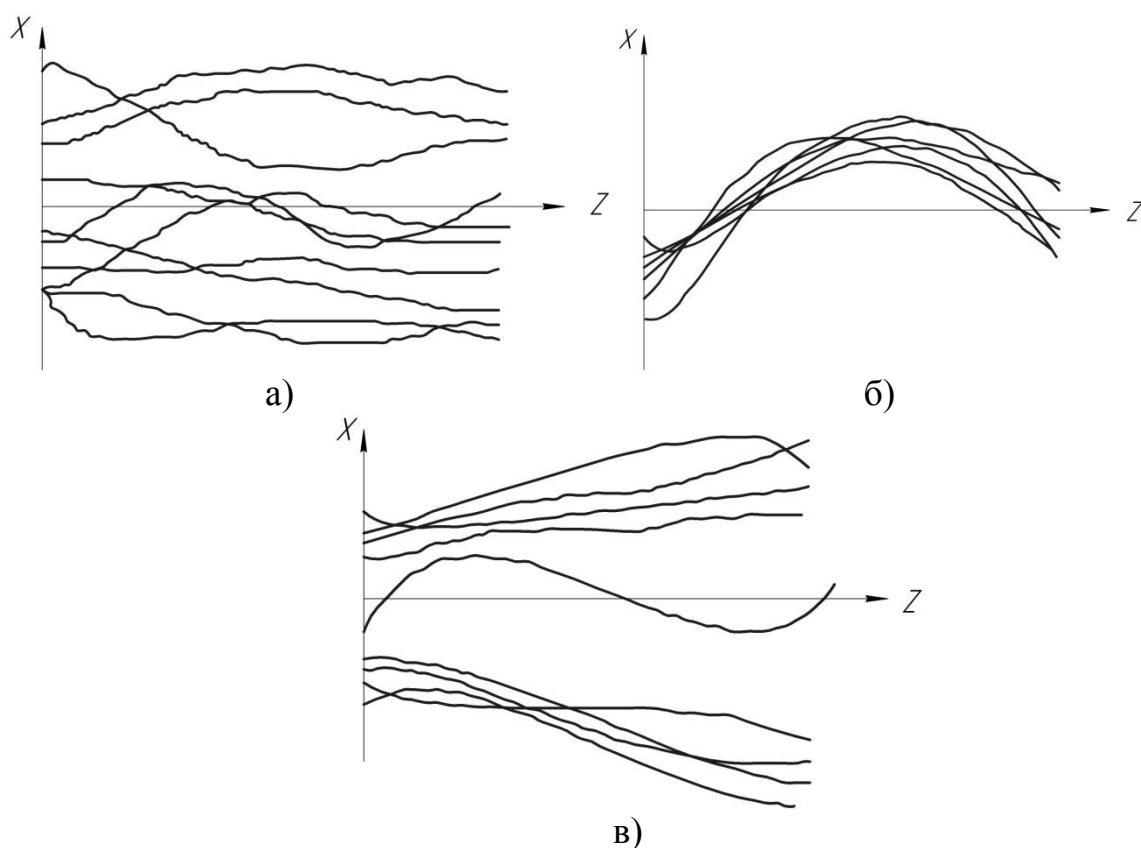


Рисунок 1. Совокупности траекторий поступательного движения

- а) основное влияние на траекторию узла оказывают **внешние силовые воздействия**;
- б) основное влияние на траекторию узла оказывают **геометрические погрешности направляющих**, силовые воздействия играют второстепенную роль;
- в) основное влияние на траекторию узла оказывают **тепловые деформации узла**.

Рассмотрим параметры траекторий поступательного перемещения формообразующего узла станка (рис.2).



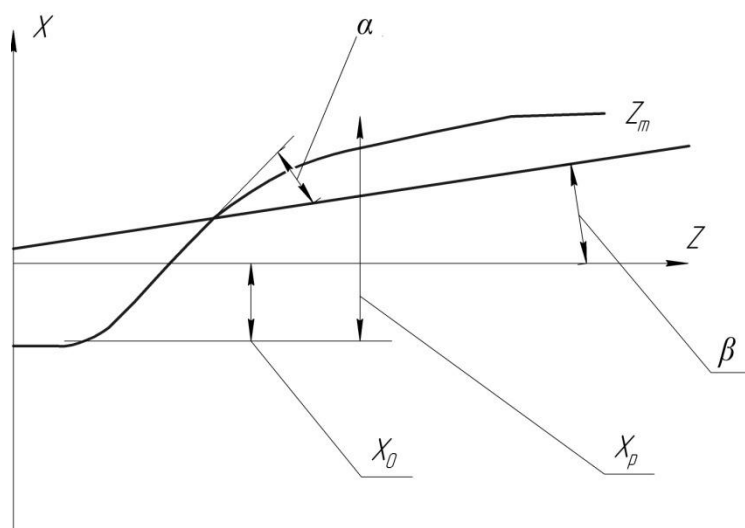


Рисунок 2. Пример траектории поступательного движения и ее параметры

## 2 ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ПАРАМЕТРОВ ТРАЕКТОРИЙ УЗЛОВ СТАНКА

Если предположить, что, в идеале, только станок оказывает влияние на точность обработки, то параметры траекторий узлов станка будут оказывать влияние на точность обработки следующим образом (под точностью обработки понимают точность размеров, формы, взаимного расположения, волнистость и шероховатость):

1. Точность положения узла в процессе обработки оказывает влияние на точность получаемого размера обрабатываемой детали.

$X_1 = X_p$  – размах траектории – определяет точность положения узла в направлении оси X, вносит погрешность размера в направлении оси X;

$X_2 = \Delta X$  – смещение траектории по отношению к оси Z;

$X_3$  – координата конца траектории, характеризует точность позиционирования узла:  $X_3 = L$  в конце траектории;  $X_3 = \Delta Z$  – отклонение от заданного положения (пример – суппорт токарно-винторезного станка при обработке ступени вала должен остановиться в заданном положении).

$X_1, X_2, X_3$  – случайные величины, определяют погрешности размера, которые зависят от конструкции станка.

2. Форма траектории оказывает влияние на точность формы детали (вогнутость, выпуклость, овальность и т.д.).

$X_4 = \operatorname{tg} \beta$  – наклон средней линии по отношению к оси Z, характеризует конусообразность для цилиндрических деталей и неплоскостность – для плоских поверхностей.

$$X_5 = \operatorname{tg} \alpha_{\max} = \left| \frac{dx}{dz} \right|_{\max}$$

3. Волнистость поверхности обработанной детали может быть связана с формой направляющих и оценена амплитудой и шагом волн на траектории формообразующего узла:

$$X_6 = \alpha_{\max},$$

$$X_7 = B.$$

Однако волнистость поверхности детали появляется не только из-за копирования формы направляющих, но и из-за динамических факторов, например автоколебаний.

4. Динамические колебания оказывают влияние на шероховатость обработанной поверхности, а также на волнистость.

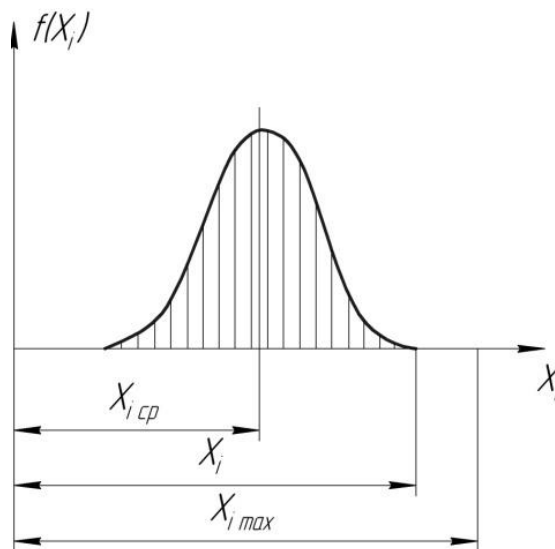
Результаты расчетов оформляются в виде таблицы.

Для оценки качества станка по результатам испытаний необходимо сравнить *области состояний станка* для каждого выходного параметра с соответствующими *областями работоспособности*, определить *запас надежности* или указать причины выхода состояний за допустимые пределы.

$X_i$  – наибольшее значение выходного параметра;

$X_{i\text{cp}}$  – среднее значение выходного параметра (математическое ожидание):

$$X_{i\text{cp}} = \frac{\sum X_i}{n};$$



$\sigma_i$  – среднеквадратическое отклонение (дисперсия):

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_{i\text{cp}})^2}{n}};$$

$X_{i\text{max}}$  – область работоспособности;

$K_{hi}$  – запас надежности,

$$K_{hi} = \frac{X_{imax}}{X_i}.$$

При  $K_{hi} < 1$  требуется определить причину. При определении всех значений  $K_{hi}$  для всех выходных параметров станка из них выбирается минимальное значение  $K_{hi} = K_{hi \min}$  и принимается за показатель запаса надежности станка. Как было отмечено, для оценки надежности станка и установления его ресурса по точности необходимо осуществить прогнозирование возможности потери работоспособности станком из-за износа его базовых составляющих.

### 3 ЗАДАНИЕ

*На испытательно - диагностическом стенде при испытании суппортной группы токарного станка получены данные суммарной траектории ее перемещения – выходные параметры поступательно перемещающегося формообразующего узла  $X_1, X_2, \dots, X_n$ .*

1. Показать на графике траектории поступательного движения формообразующего узла станка выходные параметры:

$X_1 = X_p$  – размах траекторий;

$X_2 = \text{tg } \beta$  – наклон траекторий;

$X_3 = \Delta Z$  – точность позиционирования;

$X_n = a_w$  – амплитуда высокочастотных колебаний.

2. Рассчитать область работоспособности  $X_{i \max}$ ;

среднее значение выходного параметра (математическое ожидание)  $X_{i \text{cp}}$ ;

среднеквадратическое отклонение (дисперсию)  $\sigma_i$ ;

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_{i \text{cp}})^2}{n}}, \text{ где } n = 100.$$

Построить кривую нормального распределения.

3. Рассчитать запас надежности  $K_{hi}$  по каждому выходному параметру:

$$K_{hi} = \frac{X_{imax}}{X_i}.$$

Наименьшее из значений  $K_{Нi}$  принимается за запас надежности узла или станка в целом.

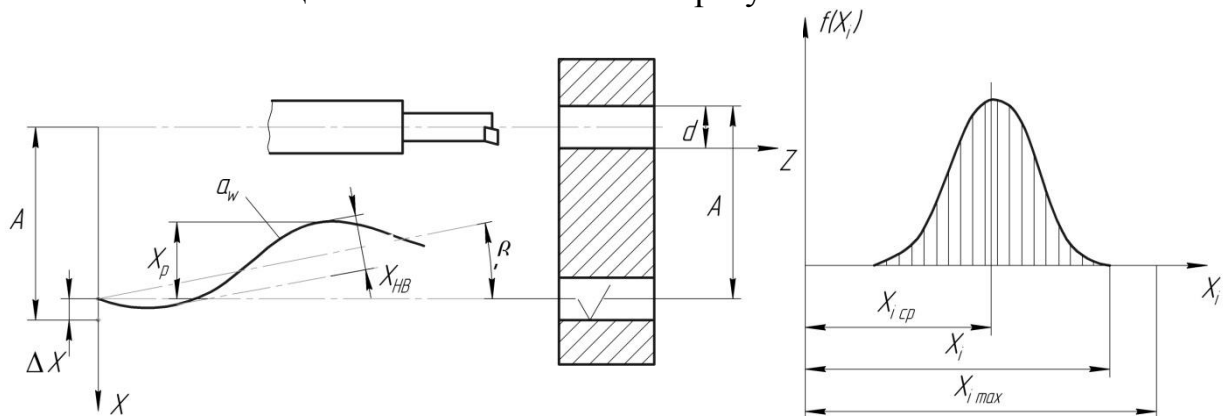
4. Сделать выводы о состоянии станка по каждому выходному параметру.

Результаты расчетов внести в таблицу 2 (показан пример заполнения).

5. Если запас надежности по какому-либо выходному параметру меньше единицы ( $K_{Нi} < 1$ ), то дайте обоснованные рекомендации о путях повышения, внесите коррективы так, чтобы максимальное значение из ряда  $X_i$  стало меньше значения области работоспособности  $X_{i\max}$  и повторите расчеты.

Таблица 2

## Оценка качества станка по результатам испытаний



Выходной параметр станка	Характеристика параметра	Требование к точности изделия	Область работоспособности	Область состояний по результатам испытаний, мм			Запас надежности $K_{Нi} = \frac{X_{i\max}}{X_i}$	Примечание
				$X_i$	$X_{i\text{ср}}$	$\sigma_i$		
$x_1 = x_p$	Размах траектории	Допуск на диаметр 0,1 мм	$x_{1\max} = 0,33$ мм (30% допуска)*	0,017	0,015	0,002	1,75	Допустимо. Необходим прогноз ресурса
$x_2 = \text{tg } \beta$	Наклон траектории	Конусность 0,05 мм на длине 100 мм	$x_{2\max} = 0,025$ мм (50% допуска)	0,02	0,015	0,001	1,25	То же
$x_3 = \Delta x$	Точность позиционирования	Расстояние между осями $\pm 0,05$ мм	$x_{3\max} = 0,075$ мм (75% допуска)	0,111	0,070	0,007	0,9	Необходимо повышать точность позиционирования
$x_4 = a_w$	Амплитуда высокочастотных колебаний	Параметр шероховатости $R_a = 0,32$ мкм	$x_{4\max} = 0,33$ мм (90% допуска)	0,27	0,22	0,03	1,1	Близко к предельному

\* Учитывается, что на точность диаметра влияет биение шпинделя

### 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. - 352 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, 2012. - 168 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.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

#### Вариант 1

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,15$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,25\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,12 \dots 0,25)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,05 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,55\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,011 \dots 0,020)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,1$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,85\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,065 \dots 0,078)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,32 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,21 \dots 0,26)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают температурные деформации узла.

#### Вариант 2

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,17$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,25\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,012 \dots 0,025)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,005 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,55\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,0011 \dots 0,0021)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,01$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,85\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,0112 \dots 0,0078)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,35 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,85\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,021 \dots 0,026)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают геометрические погрешности формы направляющих станины, каретки, суппорта токарного станка.

### Вариант 3

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,21$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,33\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,22 \dots 0,031)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,02 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,45\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,0014 \dots 0,0024)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,15$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,75\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,065 \dots 0,078)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,3 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,110 \dots 0,119)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.



ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают геометрические погрешности формы направляющих.

#### Вариант 4

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,17$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,35\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,026...0,035)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,025 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,6\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,016...0,021)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,18$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,110...0,119)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,36 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,21...0,29)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают внешние силовые воздействия.

#### Вариант 5

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,058$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,37\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,020...0,032)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,045 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,6\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,025...0,033)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,20$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,110...0,119)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости  $0,36$  мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,111...0,121)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают внешние силовые воздействия.

#### Вариант 6

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,58$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,37\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,20...0,032)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна  $0,45$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,6\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,16...0,23)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,18$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,110...0,119)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости  $0,40$  мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,85\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,21...0,29)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают температурные деформации.

#### Вариант 7

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,16$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,34\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,028...0,034)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна  $0,035$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,5\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,010...0,019)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,85$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,85\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,097...0,114)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. Амплитуда высокочастотных колебаний  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,40 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,29...0,35)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают внешние силовые воздействия.

#### Вариант 8

1. Размах траектории  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 1,7$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,85\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,3...0,5)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. Наклон траекторий  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,35 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,68\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,010...0,014)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. Точность позиционирования  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,95$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,520...0,619)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. Амплитуда высокочастотных колебаний  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,80 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,61...0,69)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают геометрические погрешности формы направляющих.

#### Вариант 9

1. Размах траектории  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,15$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,35\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,032...0,042)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. Наклон траекторий  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,020 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,006...0,009)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. Точность позиционирования  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,35$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,75\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,110...0,119)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. Амплитуда высокочастотных колебаний  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,14 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,75\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,006...0,009)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают геометрические погрешности формы направляющих.

#### Вариант 10

1. Размах траектории  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,15$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,3\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,015...0,024)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. Наклон траекторий  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,38 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,6\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,018...0,023)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. Точность позиционирования  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,15$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,75\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,0110...0,0119)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. Амплитуда высокочастотных колебаний  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,36 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,21...0,29)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают тепловые деформации узла.

#### Вариант 11

1. Размах траектории  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,22$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,5\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,06...0,09)$  мм. Всего 100 значений, расположенных

в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,06 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,3\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,012...0,017)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,9$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,06...0,075)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,40 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,021...0,029)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают внешние силовые воздействия

#### Вариант 12

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,2$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,5\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,006...0,009)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,15 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,65\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,004...0,0086)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,48$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,8\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,281...0,318)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,35 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,24...0,29)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают геометрические погрешности формы направляющих.

## Вариант 13

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,1$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,33\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,026...0,031)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,075 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,65\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,027...0,033)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,5$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,75\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,310...0,340)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,25 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,12...0,19)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают тепловые деформации.

## Вариант 14

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,8$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,85\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,046...0,055)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,045 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,65\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,0210...0,0275)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,50$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,395...0,420)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,8 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,62...0,71)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают внешние силовые воздействия.

#### Вариант 15

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,12$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,33\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,026...0,035)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,06 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,5\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,016...0,021)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,25$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,75\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,110...0,116)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,50 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,31...0,42)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают тепловые деформации.

#### Вариант 16

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,25$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,36\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,026...0,075)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,05 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,45\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,010...0,018)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,08$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,85\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,055...0,064)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,26 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,12...0,19)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают геометрические погрешности формы направляющих.

#### Вариант 17

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,08$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,5\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,026...0,035)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,06 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,65\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,026...0,031)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,18$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,8\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,1108...0,121)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. *Амплитуда высокочастотных колебаний*  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,20 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,121...0,129)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают внешние силовые воздействия.

#### Вариант 18

1. *Размах траектории*  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,05$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,4\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,0016...0,0019)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. *Наклон траекторий*  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,03 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,6\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,012...0,017)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. *Точность позиционирования*  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,1$  мм.



Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,035...0,065)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. Амплитуда высокочастотных колебаний  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,60 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,24...0,49)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают геометрические погрешности формы направляющих.

#### Вариант 19

1. Размах траектории  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,5$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,4\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,016...0,019)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. Наклон траекторий  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,03 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,6\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,011...0,016)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. Точность позиционирования  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,2$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,09...0,112)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. Амплитуда высокочастотных колебаний  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,15 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,9\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,121...0,129)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают температурные деформации.

#### Вариант 20

1. Размах траектории  $X_1 = X_p$ .

Допуск на размер  $\delta = 0,07$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,35\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{1i} = (0,0026...0,0035)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

2. Наклон траекторий  $X_{i2} = \text{tg } \beta$ .

Конусность на длине 100 мм равна 0,0025 мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,6\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,0016...0,0021)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

3. Точность позиционирования  $X_3 = \Delta Z$ .

Допуск линейного размера  $\pm 0,08$  мм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{3i} = (0,0110...0,0119)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

4. Амплитуда высокочастотных колебаний  $X_{i4} = a_w$ .

Параметр шероховатости 0,36 мкм.

Область работоспособности  $X_{i \max} = 0,7\delta$ .

Интервал значений параметра  $X_{2i} = (0,205...0,245)$  мм. Всего 100 значений, расположенных в заданном интервале случайным образом.

ПРИМЕЧАНИЕ. При построении траектории перемещения узла учесть, что основное влияние на форму траектории оказывают внешние силовые воздействия.