

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БРЕСТСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**КАФЕДРА МАШИНОВЕДЕНИЯ**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к лабораторной работе**

**«ИЗМЕРЕНИЕ ТОЧНОСТИ  
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧИХ  
ОРГАНОВ СТАНКОВ С ЧПУ»**

по дисциплине “Испытания и эксплуатация металлорежущих станков”,  
“Исследования и испытания станков и инструментов” для студентов  
специальности Т 03.01 “Технология, оборудование и автоматизация  
машиностроения” всех специализаций

Брест 1999

УДК 621.9:620.1

Методические указания необходимы при выполнении и защите лабораторной работы «Измерение точности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ» по дисциплине «Испытания и эксплуатация металлорежущих станков», «Исследования и испытания станков и инструментов».

Предназначены для студентов специальности Т 03.01 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроения» всех специализаций.

Составители: В.Ф.Григорьев, доцент, к.т.н.

В.П.Горбунов, доцент, к.т.н.

Рецензент: Ю.В.Роганов, заместитель директора Брестского НП «Брестсельмаш»

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### «Измерение точности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ»

#### 1. Цель работы:

- 1.1. Ознакомиться с оснасткой и контрольно-измерительной аппаратурой для измерения точности позиционирования.
- 1.2. Получить практические навыки измерения точности позиционирования с помощью измерительного комплекта “Сигнал”.
- 1.3. Сделать заключение о точности позиционирования рабочих органов (РОС) станка MC 12-250.

#### 2. Содержание работы.

- 2.1. Понятие о позиционировании и его точности.

Позиционирование - это осевая ориентация подвижных рабочих органов станка относительно оси инструмента. В общем случае точность позиционирования - это точность фиксации конца траектории РОС.

Точность позиционирования является одним из основных показателей точности станков с ЧПУ. Под точностью позиционирования понимается отклонение действительного положения РОС от запрограммированного в системе ЧПУ, при его многократном позиционировании в различных точках по пути перемещения по одной из координатных осей.

При контроле точности позиционирования применяется статистический метод оценки точности по результатам многократных повторных испытаний. При этом определяются их статистические характеристики. Применение статистического метода оценки точности в данном случае обусловлено тем, что позиционирование РОС в данной точке является случайной величиной, зависящей от многих факторов. При этом случайные отклонения соизмеримы с систематическими. При оценке точности позиционирования учитывается шестисигмовая зона нормального распределения.

Точность позиционирования является интегральным показателем точности функционирования механической и электронной систем станка с ЧПУ и поэтому обладает высокой информативностью. Этот показатель обеспечивает получение информации о наличии параметрического отказа в многофункциональной

системе, состоящей из нескольких узлов без проведения контроля каждого из них в отдельности.

На точность позиционирования оказывают влияние, а значит и могут контролироваться этим интегральным показателем следующие показатели точности станка: геометрическая точность сопряжённых поверхностей и взаимное расположение базовых деталей, точность установки шкал измерительной системы станка и её техническое состояние, а также состояние электронной части ЧПУ, управляющей перемещением РОС.

С изменением во времени этих показателей изменяются также параметры точности позиционирования. Если установить признаки, указывающие на связь каждого из показателей контролируемой системы с параметрами точности позиционирования, то можно было бы без разборки станка определить элемент станка, в котором возник параметрический отказ.

На эксплуатируемых станках условием достижения высокой точности является компенсация систематических погрешностей перемещения рабочих органов.

Зона нечувствительности возникает при изменении направления движения на противоположное, когда рабочие органы некоторое время не начинают движения в новом направлении. Существует несколько решений, которые снижают или полностью устраняют вероятность появления погрешности. На многих станках с позиционной системой управления автоматически осуществляется подход в запрограммированную точку всегда с одной стороны, независимо от задания направления движения. В современных станках с УЧПУ можно автоматически компенсировать (вводом в долговременную память) влияние зоны нечувствительности путем дополнительного перемещения рабочего органа при каждом реверсировании движения.

Существует возможность повышения точности станков путем компенсации погрешностей позиционирования рабочих органов. Точность позиционирования по каждой из осей координат проверяют в большом числе точек и строят график погрешностей. В промежутках между двумя соседними точками компенсация будет осуществляться по закону линейной интерполяции. Процедура компенсации состоит во внесении в долговременную память УЧПУ в параметрической форме численных значений погрешностей в каждой из выбранных для компенсации точек. Первоначальные значения компенсации

следует обновлять по прошествии некоторого времени, так как точность позиционирования изменяется в результате изнашивания деталей станка.

## 2.2. Используемое оборудование, измерительная оснастка и контрольно-измерительная аппаратура.

### 2.2.1. Станок МС12-250.л

По эксплуатационной документации на станок изучить механизм задания и исполнения координат поступательного перемещения.

### 2.2.2. Патрон.

Патрон 5 (рисунок 1) предназначен для крепления индуктивных датчиков 1 и 2. На патроне имеются регулировочные винты 8 и 9, с помощью которых при отклонении от номинального зазора производится корректировка "нуля" выходного напряжения датчиков. Патрон устанавливается в шпиндель станка.

### 2.2.3. Измерительная линейка.

Конструктивно измерительная линейка выполняется в виде зубчатой рейки с прямоугольными выступами (см. рисунок 1). Кромки выступов являются метками контролируемых положений РОС, число которых и расположение по линейке соответствует требованиям ОСТ 2 Н72-6-85. Для измерения линейных перемещений меток измерительной линейки в модуле позиционирования имеется два измерительных канала с двумя жёстко связанными между собой бесконтактными индуктивными датчиками. Один из них (проходной датчик перемещения ПД) служит для измерения расстояний между датчиком и кромкой прямоугольного выступа линейки. Другой (датчик зазора ДЗ) служит для измерения расстояния между датчиками и плоскостью измерительной линейки, который может изменяться в случае непараллельности этой плоскости траектории РОС. Для этого на линейке выполнена плоская поверхность.

Устанавливают измерительную линейку на РОС таким образом, чтобы ДП находился над зубчатой поверхностью, а ДЗ над плоской поверхностью измерительной линейки. При этом ось ДП должна находиться над кромкой первого прямоугольного выступа, являющейся "нулём" координат. Между ДЗ и плоской поверхностью устанавливается номинальный зазор, при котором выходное напряжение ДП и ДЗ должно быть равно нулю. Если выходное напряжение ДЗ равно нулю, а выходное напряжение ДП отличается от нуля (допускаемое отклонение  $\pm 10\text{мкм}$ ), то нуль устанавливают регулировкой датчика. При значительных отклонениях выходного напряжения ДП от нуля проводят корректировку нуля перемещением каретки патрона с датчиками винтами или измерительной линейки вдоль контролируемой координаты.

После установки и закрепления линейки необходимо проверить параллельность её измерительной и боковой поверхностей траектории перемещения РОС. Допускаемое отклонение от параллельности измерительной поверхности  $\pm 0.02\text{мм}$  и боковой  $\pm 0.05\text{мм}$ .

#### 2.2.4. Измерительный комплект (ИК) "Сигнал".

ИК «Сигнал» комплектуется по модульному принципу и состоит из измерительных модулей и модулей, обеспечивающих их функционирование. К последним относятся блок питания, модуль отметки и модуль микропроцессорный. Измерительные модули следующие: статических и динамических измерений (МСД), контроля точности позиционирования (ПН-2), температурных измерений.

Модуль контроля точности позиционирования предназначен для измерения величины отклонения РОС от заданных системой ЧПУ станка координат при его позиционировании.

Модуль ПН-2 преобразует линейные перемещения объекта контроля (измерительной линейки) в направлении, перпендикулярном оси датчика, в нормализованный сигнал напряжения 0...10В. В модуль ПН-2 заложен алгоритм измерения отклонений от координат и вычисление показателей по ОСТ 2 Н72-6-85.

Выбор режима "позиционирование" открывает доступ к меню, состоящему из четырёх пунктов:

- ручной
- автоматический
- параметры
- нули.

При первом запуске необходимо ввести требуемые параметры: число точек, число проходов, коэффициент температурного расширения датчиков и т.д. Выбор параметра осуществляется с помощью меню, а ввод его численного значения с помощью модификации клавиатуры. Нажатием клавиши "А" во время ввода числового значения достигается запоминание введённых числовых значений параметра.

Далее определяют нулевые положения датчиков зазора и перемещения. При выборе режима «Установка нулей» на экране отображаются 4 числа (хххх):

- 1> хххх хххх <3
- 2> хххх хххх <4

Эти числа в относительных единицах описывают перемещения датчика зазора вдоль его оси и датчика перемещения вдоль измерительной линейки в районе кромки, или, иначе, эти числа пропорциональны величинам выходных аналоговых напряжений (на входах АЦП) каналов зазора и перемещения ПН-2.

Первое число обозначает раннее введенную в память величину сигнала на выходе канала перемещения при нулевом положении ДП. Второе число показывает величину этого сигнала.

Аналогично третье число обозначает раннее введенную в память величину аналогового выходного сигнала канала зазора при нулевом положении ДЗ. Четвертое число показывает текущую величину сигнала в канале зазора.

Показания 2 и 4 обновляются через 1/2 секунды.

После того, как датчики установлены в нулевые положения, нажимают клавишу «А», что вызывает запоминание текущей информации (показания 2 и 4 записываются в 1 и 3). Эта информация будет использоваться в дальнейших расчетах.

После того, как введены необходимые значения параметров, можно приступить непосредственно к процессу измерения. Возможны два режима: ручной и автоматический. В автоматическом режиме прибор сам определяет местоположение датчика и вводит численные значения контролируемых параметров. При ручном режиме необходимо установить

ДП вручную в положение, которое указано на экране, т.е. "над срезом", «над впадиной» и т.д. При этом на экран выводится номер текущего прохода и направление прохода.

После того, как датчик установлен в требуемое положение, нажимают клавишу «А». В результате происходит ввод численных значений контролируемых параметров. Выход из режима осуществляется нажатием клавиши «S».

По окончании процесса измерения независимо от его режима (ручной или автоматический) на экран выводятся результаты статистической обработки информации. Нажатие клавиши «Р» позволяет увидеть на экране величины отклонений в каждой точке. С помощью клавиш < и > можно посмотреть все их значения для одного прохода. Клавишами ^ и v можно изменить номер просматриваемого прохода.

#### 2.2.5. Основные технические данные ИК “Сигнал”.

Количество проходов.....не менее 5

Количество координат.....	не менее 13
Номинальный зазор между торцом бесконтактного датчика и объектом контроля, мм	
для ПН-2(канал перемещения).....	0.1
для ПН-2 (канал зазора).....	0.5
Диапазон измерения перемещения при контроле точности позиционирования, мкм .....	40
Погрешность измерения перемещения при контроле позиционирования, мкм.....	1

### 3. Порядок выполнения работы.

3.1.Составить программу для УЧПУ и ввести в ЭВМ станка.

3.2.Прогреть станок, включить ИК "Сигнал".

3.3.Ввести в измерительный комплект «Сигнал» количество координат, по которым производится измерение точности позиционирования и количество проходов (см. п.2.2.4.).

3.4.Установить «0» на приборе по координате "0" на измерительной линейке.(см.п.2.2.4.)

3.5.1.Ручной режим.

Измерение выполнять в строгом порядке - сначала первый проход от начала - от первой кромки (0) до последней (прямой ход). Затем проход от последней кромки до первой (обратный ход),затем снова прямой и т.д. РОС перемещают по координатам меток измерительной линейки. Ввод параметров в память осуществляют при остановке РОС (см.п.2.2.4.).После выполнения всех измерений программа сама переходит к расчётам. Затем на экране просматривают результаты расчётов.

3.5.2.Автоматический режим.

Очерёдность замеров аналогична ручному режиму. Но измерение проводится при автоматическом перемещении РОС согласно введённой в ЧПУ программе. Момент измерения наступает, когда датчик находится над кромкой и движение прекращается. При остановке РОС считываются значения напряжения с каждого датчика, затем значения напряжения пересчитываются в величины перемещения. После завершения измерений в автоматическом режиме необходимо просмотреть результаты расчётов на экране прибора и сравнить их с результатами измерений в ручном режиме.

3.6.Составить отчёт о проделанной работе.

#### **4.Содержание отчёта.**

- 4.1.Расчёт статистических показателей точности позиционирования по методике ОСТ 2Н72-6-85 с использованием результатов измерений (см.приложение).
- 4.2.График отклонений действительного положения РОС от заданного (см.приложение).
- 4.3.Заключение о годности станка по нормам точности позиционирования (приложение, таблица 3).

#### **5.Контрольные вопросы.**

- 5.1.Что понимается под точностью позиционирования?
- 5.2 Какой метод оценки точности позиционирования применяется и почему?
- 5.3.От каких факторов зависит точность позиционирования?
- 5.4.Описать работу измерительного комплекта "Сигнал".
- 5.5.Для чего на измерительной линейке выполнена плоская поверхность?
- 5.5.Как осуществляются измерения в ручном и автоматическом режимах?
- 5.6.Какие существуют методы компенсации погрешности позиционирования станков с ЧПУ?

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

1. Точность и надёжность станков с числовым программным управлением.  
Под ред. А.С. Пронилова. М.: Машиностроение, 1982.
2. Ратмиров В.А. Точность обработки станками гибких производственных систем  
М.: Машиностроение, 1987.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА И ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

#### ИЗМЕРЕНИЯ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Основные определения, формулы и пример расчёта приведены для случая измерения точности позиционирования рабочего органа по линейной оси координат  $X$ , но могут быть использованы при измерении по любым осям координат.

**Длина перемещения  $L_x$**  - наибольшая длина перемещения проверяемого рабочего органа, в пределах которой производят измерение точности позиционирования.

**Интервал измерения  $I_j^x$**  – расстояние между двумя соседними заданными положениями рабочего органа в пределах длины перемещения  $L_x$ , в которых производят измерение точности позиционирования.

**Заданное положение рабочего органа  $X_j$**  - расчётное положение рабочего органа, в которое он должен переместиться по оси координат, где  $j=1,2\dots m$ - порядковый номер заданного положения.

**Нулевое положение рабочего органа  $X_0$**  - положение рабочего органа, зафиксированное средством измерения относительно какой-либо базовой поверхности или оси другого рабочего органа, несущего инструмент или обрабатываемую деталь и принятое за начало отсчёта по контролируемой оси координат.

**Действительное положение рабочего органа  $X_{ji}$**  - положение рабочего органа, установленное при позиционировании и зафиксированное средством измерения, где  $i=1,2\dots n$  порядковый номер измерения.

**Отклонение от заданного положения рабочего органа  $\Delta X_{ji}$  при  $i$ -ом измерении** - разность между действительным и заданным положением рабочего органа при проходе в заданное положение:

$$\Delta \bar{X}_{ji} = X_{ji} - X_j \quad (1)$$

**Среднее отклонение от заданного положения рабочего органа  $\Delta \bar{X}_j$** - среднее арифметическое отклонений от заданного положения рабочего органа, полученных по результатам измерений при многократном подходе в заданное положение:

$$\Delta \bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_{ji} \quad (2)$$

**Размах отклонений от заданного положения рабочего органа  $R_j$**  - абсолютная наибольшая алгебраическая разность отклонений от заданного положения рабочего органа, полученных по результатам измерений при многократном подходе в заданное положение:

$$R_j = \max \Delta X_{ji} - \min \Delta X_{ji} \quad (3)$$

**Среднее квадратическое отклонение от заданного положения рабочего органа  $S_j$** -вероятностное значение рассеяния отклонений от заданного положения рабочего органа (с вероятностью 0.997), полученных по результатам измерений при многократном подходе в заданное положение.

При количестве измерений  $n$  более 10 расчёт среднего квадратического отклонения  $S_j$  производят по формуле:

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_{ji} - \Delta \bar{X}_j)^2} \quad (4)$$

Если число измерений  $n$  от 5 до 10, допускается производить расчёт среднего квадратического отклонения  $S_j$  по формуле:

$$S_j = \frac{R_j}{\alpha_n} \quad (5)$$

где  $\alpha_n$ -коэффициент, зависящий от числа измерений. Значения  $\alpha_n$  приведены в таблице 1.

Таблица 1- Коэффициент  $\alpha_n$ .

<b>n</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$\alpha_n$	2.3	2.3	2.7	2.8	2.9	3.0
	26	54	04	47	70	78

**Рассеяние отклонений от заданного положения рабочего органа  $P_{sj}$**  - величина зоны, в которой с вероятностью 0,997 находятся отклонения от заданного положения рабочего органа при многократном подходе в заданное положение:

$$P_{sj} = 6S_j \quad (6)$$

Зона рассеяния отклонений от заданного положения рабочего органа относительно среднего отклонения  $\Delta \bar{X}_j$  составляет от  $+3 S_j$  до  $-3 S_j$ .

Расчёт показателей точности позиционирования производят для каждого направления перемещения рабочего органа отдельно. При этом к приведённым выше обозначениям заданного и действительного положения и отклонений от заданного положения рабочего органа добавляют индексы, указывающие направление позиционирования рабочего органа:  $\alpha$  - для позиционирования в положительном направлении,  $r$  - для позиционирования в отрицательном направлении.

Точность позиционирования при одностороннем подходе  $P$  - вероятностная величина зоны, в которой находятся отклонения от заданных положений рабочего органа при многократном подходе в любые заданные положения в пределах длины перемещения.

**Точность позиционирования при одностороннем подходе  $P_\alpha$  или  $P_r$**  определяют по формулам:

$$P_\alpha = \max [(\Delta \bar{X}_{j\alpha} + 3 S_{j\alpha}) - (\Delta \bar{X}_{j\alpha} - 3 S_{j\alpha})];$$

$$P_r = \max [(\Delta \bar{X}_{jr} + 3 S_{jr}) - (\Delta \bar{X}_{jr} - 3 S_{jr})], \quad (7)$$

где значения  $j$  в выражениях  $\Delta \bar{X}_{j\alpha} + 3 S_{j\alpha}$  и  $\Delta \bar{X}_{jr} - 3 S_{jr}$  могут совпадать или не совпадать между собой.

**Стабильность позиционирования при одностороннем подходе  $P_s$**  - наибольшее вероятностное значение рассеяния отклонений от заданных положений рабочего органа при одностороннем подходе в любые заданные положения в пределах длины перемещения.

**Стабильность позиционирования при одностороннем подходе  $P_{s\alpha}$  или  $P_{sr}$**  определяют по формулам:

$$P_{s\alpha} = \max P_{sj\alpha};$$

$$P_{sr} = \max P_{sjr}. \quad (8)$$

**Точность позиционирования при двухстороннем подходе  $P_{\alpha r}$**  - вероятностная величина зоны, в которой находятся отклонения от заданных положений рабочего органа при многократном двухстороннем подходе в любые заданные положения в пределах длины перемещения.

**Точность позиционирования при двухстороннем подходе  $P_{\alpha r}$**  определяют по формуле:

$$P_{\alpha r} = \max [(\Delta \bar{X}_{j\alpha(r)} + 3 S_{j\alpha(r)}) - (\Delta \bar{X}_{j\alpha(r)} - 3 S_{j\alpha(r)})], \quad (9)$$

где значения  $j$  в выражениях  $\Delta \bar{X}_{j\alpha(r)} + 3 S_{j\alpha(r)}$  и  $\Delta \bar{X}_{j\alpha(r)} - 3 S_{j\alpha(r)}$  могут совпадать или не совпадать между собой.

**Стабильность позиционирования при двухстороннем подходе  $P_{smax}$**  определяют как наибольшее из значений рассеяния, вычисленных по формулам (8) или по формуле:

$$P_{s\alpha r} = \max [(\Delta \bar{X}_{j\alpha(r)} + 3 S_{j\alpha(r)}) - (\Delta \bar{X}_{j\alpha(r)} - 3 S_{j\alpha(r)})], \quad (10)$$

где значения  $j$  в выражениях  $\Delta \bar{X}_{j\alpha(r)} + 3 S_{j\alpha(r)}$  и  $\Delta \bar{X}_{j\alpha(r)} - 3 S_{j\alpha(r)}$  совпадают между собой.

**Зона нечувствительности при реверсировании  $U_j$**  - наибольшая абсолютная разность значений средних арифметических отклонений от заданного положения рабочего органа при многократном двухстороннем подходе в заданное положение.

Зону нечувствительности при реверсировании  $U_j$  определяют по формуле:

$$U_j = \Delta \bar{X}_{j\alpha} - \Delta \bar{X}_j \quad (11)$$

где значения  $j$  в выражениях  $\Delta \bar{X}_{j\alpha}$  и  $\Delta \bar{X}_j$  совпадают между собой.

**Наибольшая зона нечувствительности при реверсировании  $U_{max}$**  - наибольшее значение зоны нечувствительности при реверсировании при многократном двухстороннем подходе в любые заданные положения в пределах длины перемещения.

Наибольшую зону нечувствительности при реверсировании  $U_{max}$  определяют по формуле:

$$U_{max} = \max U_j \quad (12)$$

Пример записи результатов измерений приведён в таблице 2, а на рисунке 2 показан график отклонений от заданных положений рабочего органа при измерении точности позиционирования. Ниже приводится расчет показателей точности позиционирования, соответствующий примеру.

$$P_{\alpha r} = (\Delta \bar{X}_{10\alpha} + 3S_{10\alpha}) - (\Delta \bar{X}_{2r} + 3S_{2r}) = 31.76 + 15.05 = 46.81 \text{ мкм}$$

$$P_{S\alpha r} = (\Delta \bar{X}_{2\alpha} + 3S_{2\alpha}) - (\Delta \bar{X}_{2r} + 3S_{2r}) = -2.66 + 15.05 = 12.39 \text{ мкм}$$

$$U_{max} = U_7 = 7.80 \text{ мкм}$$

$$P_{\alpha} = (\Delta \bar{X}_{10\alpha} + 3S_{10\alpha}) - (\Delta \bar{X}_{2\alpha} + 3S_{2\alpha}) = 31.76 + 18.14 = 49.9 \text{ мкм}$$

$$P_r = (\Delta \bar{X}_{10r} + 3S_{10r}) - (\Delta \bar{X}_{2r} + 3S_{2r}) = 31.76 + 15.05 = 46.81 \text{ мкм}$$

$$P_{s\alpha} = P_{s2\alpha} = P_{s7\alpha} = 7.74 \cdot 2 = 15.42 \text{ мкм}$$

$$P_{sr} = P_{s2r} = P_{s7r} = 6.45 \cdot 2 = 12.90 \text{ мкм}$$

$$P_{smax} = P_{s\alpha} = 15.48 \text{ мкм}$$

Учебное издание

Составители: Григорьев Владимир Федорович, доцент, к.т.н.

Горбунов Виктор Петрович, доцент, к.т.н.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**к лабораторной работе**

**«ИЗМЕРЕНИЕ ТОЧНОСТИ**  
**ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧИХ**  
**ОРГАНОВ СТАНКОВ С ЧПУ»**

по дисциплине “Испытания и эксплуатация металлорежущих станков”, “Исследования и испытания станков и инструментов” для студентов специальности Т 03.01 “Технология, оборудование и автоматизация машиностроения” всех специализаций

Ответственный за выпуск: Григорьев В.Ф.,

Редактор: Строкач Т.В.

---

Подписано к печати                      Формат 60x84 1/16 Бумага писч. Усл. п.л.                      Уч.  
изд. л.                      Тираж                      экз Заказ №                      Бесплатно. Отпечатано на ризографе  
Брестского политехнического института. 224017, Брест, ул. Московская, 267.

