

Бойко А.Ф., д-р техн. наук, проф.,  
Переверзев С.С., аспирант,  
Лойко А.М., аспирант,  
Шинкарев И.Ю., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КООРДИНАТНОГО СТОЛА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО СТАНКА 04ЭП-10М

Lam.bel@mail.ru

В статье представлены результаты исследований точности перемещений координатного стола электроэрозионного прошивочного станка модели 04ЭП-10М. Была разработана и экспериментально апробирована методика определения погрешности специфического ручного привода поперечного перемещения стола. Установлено, что относительная погрешность перемещения составила 1 %. Причиной погрешности является неточная установка микрометрического винта по углу его разворота относительно направления перемещения стола. В результате расчетов установлено, что погрешность установки составляет приблизительно  $1^\circ$ . По результатам исследований был предложен и реализован метод устранения выявленной погрешности.

**Ключевые слова:** электроэрозионный станок, координатный стол, погрешность перемещения, эксперимент, микрометрические винты.

**Введение.** Электроэрозионный координатно-прошивочный станок модели 04ЭП-10М предназначен для получения малых высокоточных отверстий диаметром от 10 до 500 мкм в токопроводящих изделиях. Станок нашел широкое применение в целом ряде отраслей промышленности: электронной, приборостроительной, медицинской, авиационной, аэрокосмической, оборонной и других. В большинстве случаев на станке осуществляют прошивку единичных отверстий в изделии, при этом установку обрабатываемой детали относительно электрода-инструмента осуществляют с помощью координатного стола. Визуальный контроль относи-

тельного положения детали и электрода ведется с использованием двух оптических головок типа ОГМЭ-П2 с регулируемым увеличением до 56-ти крат [1–5].

**Основная часть.** При прошивке нескольких отверстий координатные перемещения детали осуществляют, используя отсчетные устройства координатного стола, представляющие собой микрометрические винтовые пары с ценой деления 0,01 мм. На рис.1 представлена фотография координатного стола станка модели 04ЭП-10М.



Рис. 1. Координатный стол станка 04ЭП-10М

Координатный стол представляет собой систему двух платформ с шариковыми направля-

ющими качения. С помощью пружин растяжения каждая платформа прижимается к рабочим

торцам микрометрических винтов с целью исключения люфтов. Конструктивной особенностью координатного стола станка модели 04ЭП-10М является различное положение осей микрометрических винтовых пар относительно направлений перемещения платформ. Продольная платформа (координата X) перемещается микрометрическим винтом, ось которого строго параллельна направлению перемещения плат-

формы, т.е. координате X, поэтому точность перемещения по этой координате высокая и находится в пределах нескольких микрометров. Поперечная платформа (координата Y) перемещается от микрометрического винта, ось которого расположена под углом  $\alpha$  относительно направления перемещения платформы по координате Y (см. рис. 2).

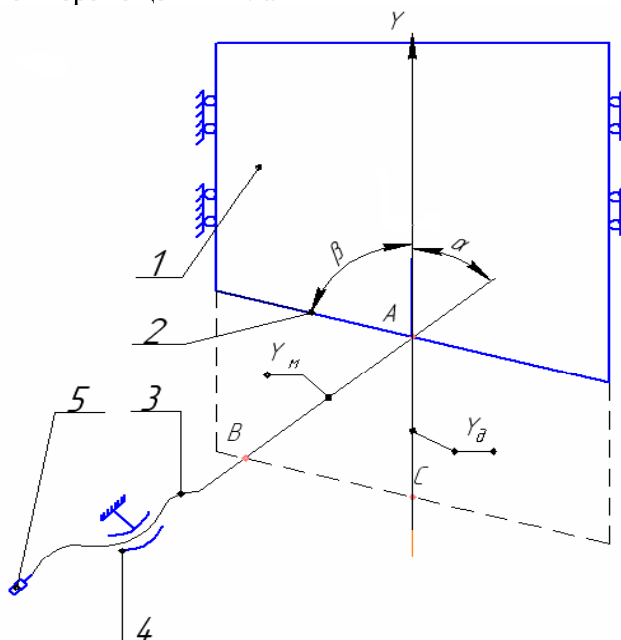


Рис. 2. Схема преобразования направления перемещения координатного стола по оси Y

Передний торец перемещений платформы 1 имеет точную шлифованную плоскую поверхность 2, расположенную под углом  $\beta$  относительно направления перемещения платформы. С ней в постоянном контакте находится рабочий торец микрометрического винта 3, вращающегося в неподвижной гайке 4. Если обозначить перемещение торца винта  $Y_M$  (отрезок АВ), отсчитываемому его лимбу 5, а действительное перемещение платформы  $Y_d$  (отрезок АС), то из приведенной схемы перемещений можно установить:

$$Y_d = Y_M \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha / \operatorname{tg} \beta). \quad (1)$$

Исходя из эргономических требований (удобства работы оператора) для данной модели станка был принят угол  $\alpha = 60^\circ$ . Тогда для обеспечения равенства  $Y_d = Y_M$  необходимо выполнения условия:

$$\cos \alpha + \sin \alpha / \operatorname{tg} \beta = 1. \quad (2)$$

Откуда, при заданном значении угла  $\alpha = 60^\circ$ , находим  $\beta = 60^\circ$ .

Из уравнения (1) видно, что точность перемещений платформы по оси Y зависит от точности микрометрического винта, которая влияет на  $Y_M$ , и точности выполнения углов  $\alpha$  и  $\beta$ . Уста-

новлено, что точность микрометрического винта гарантирована стандартной прецизионной конструкцией винтовой пары, а угла  $\beta$  высокоточной технологической операцией – шлифованием. Точность выполнения угла  $\alpha$  обеспечивается при монтаже микрометрической винтовой пары на операции сборки координатного стола и зависит от квалификации сборщика. Была поставлена задача: определить с использованием методов математической статистики точность перемещений по координате Y экспериментально, предложить и реализовать способ повышения точности.

В ходе проведения эксперимента погрешность перемещения определялась путем сравнения показаний отсчетного устройства микрометрического винта с показаниями индикатора часового типа ИЧ-10, установленного в специальном приспособлении и точно сориентированного для измерения действительного перемещения  $Y_d$  стола вдоль оси Y.

В табл. 1 приведены результаты измерений перемещения  $Y_M$  по микрометрическому винту и индикатору часового типа (перемещение  $Y_d$ ). Перемещение  $Y_M$  производилось с шагом 0,5 мм (один оборот винта).

Таблица 1

№ измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Y <sub>м</sub> , мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Y <sub>д</sub> , мм	0,46	0,98	1,48	1,97	2,47	2,96	3,45	3,95	4,48	4,94
№ измерения	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Y <sub>м</sub> , мм	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10
Y <sub>д</sub> , мм	5,43	5,94	6,43	6,92	7,44	7,92	8,41	8,91	9,38	9,90

На рис. 3 показан график зависимости погрешности перемещений  $\Delta = Y_m - Y_d$  в мкм от перемещения  $Y_m$ . Из графика видно, что зависимость близка к линейной. Если измерения № 1, 9, 19 исключить из статического ряда как резко выходящие из усредненной линейной зависимости (см. рис. 3), т.е. отнести их к грубой ошибке измерений, то оставшиеся 17 измерений можно использовать для корреляционного анализа и

математического моделирования линейной зависимости:

$$Y_d = K \cdot Y_m + b, \tag{3}$$

где K и b – коэффициенты модели.

Оценим тесноту связи между перемещениями  $Y_m$  и  $Y_d$  через коэффициент корреляции  $K_k$  [6, 7], используя данные 17 измерений:

$$K_k = \frac{n \cdot \sum_1^n Y_m \cdot Y_d - \sum_1^n Y_m \cdot \sum_1^n Y_d}{\sqrt{n \cdot \sum_1^n Y_m^2 - (\sum Y_m)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_1^n Y_d^2 - (\sum Y_d)^2}} = \frac{17 \cdot 600,35 - 90,5 \cdot 89,5}{\sqrt{17 \cdot 606,75 - 90,5^2} \cdot \sqrt{17 \cdot 594,01 - 89,5^2}} = 0,99999 \approx 1. \tag{4}$$

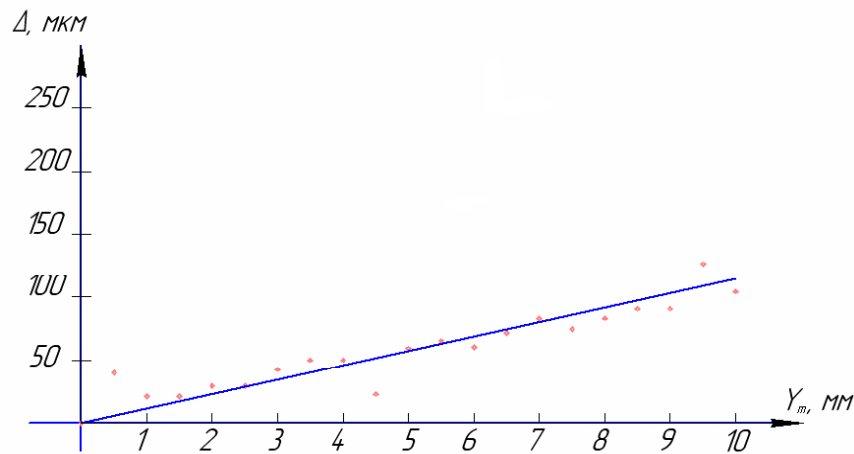


Рис. 3. График зависимости погрешности  $\Delta$  перемещения стола по координате Y от перемещения  $Y_m$  микрометрического винта

Так как  $K_k \approx 1$ , то связь между перемещениями  $Y_m$  и  $Y_d$  прямая пропорциональная и может быть представлена линейной зависимостью:

$$Y_d = K \cdot Y_m + b. \tag{5}$$

Для отыскания коэффициентов модели K и b используем метод наименьших квадратов [7–9], в соответствии с которым:

$$K = \frac{n \cdot \sum_1^n Y_m \cdot Y_d - \sum_1^n Y_m \cdot \sum_1^n Y_d}{n \cdot \sum_1^n Y_m^2 - (\sum Y_m)^2} = \frac{17 \cdot 600,35 - 90,5 \cdot 89,5}{17 \cdot 606,75 - 89,5^2} = 0,99, \tag{6}$$

$$b = \frac{1}{n} (\sum_1^n Y_d - K \sum_1^n Y_m) = \frac{1}{17} \cdot (89,5 - 0,99 \cdot 90,5) = -0,006. \tag{7}$$

Так как  $b \approx 0$ , то прямая  $Y_d = f(Y_m)$  проходит вблизи начала координат. Но значение коэффициента пропорциональности  $K = 0,99 \neq 1$  показывает, что относительная погрешность перемещения стола составляет около 1%. Очевидно, эта погрешность вызвана неточной установкой микрометрического винта по углу  $\alpha = 60^\circ$ . Определим эту погрешность используя зависимость (1) и экспериментально полученный коэффициент пропорциональности  $K = 0,99$ , который теоретически определяется из (1):

$$K = \cos \alpha + \sin \alpha / \operatorname{tg} 60^\circ = 0,99, \tag{8}$$

откуда  $\alpha = 61,04^\circ$ . Таким образом, погрешность установки микрометрического винта составляет:  $\Delta \alpha = 61,04^\circ - 60^\circ = 1,04^\circ$ .

**Выводы:**

1. Между перемещением микрометрического винта  $Y_m$  и действительным перемещением координатного стола по оси Y существует прямая пропорциональная зависимость с коэффициентом пропорциональности  $K = 0,99 \neq 1$ ,

что обуславливает относительную погрешность перемещения стола около 1%.

2. Причиной погрешности является неточная установка микрометрического винта по углу  $\alpha$ . Погрешность установки составляет  $\Delta\alpha = 1,04^\circ \approx 1^\circ$ .

3. Устранение погрешности перемещения координатного стола возможно следующими способами:

– ручная корректировка положения микрометрического винта с державкой с использованием слесарно-монтажных и измерительных средств;

– конструктивная доработка привода перемещений по типу устройства координаты X, но с учетом соблюдения эргономических требований к станку.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бойко А.Ф. Эффективная технология и оборудование для электроэрозионной прошивки прецизионных микроотверстий. Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. 314 с.

2. Лойко А.М., Шинкарев И.Ю. Краткий обзор отечественного оборудования для электроэрозионной прошивки микроотверстий // Международная научно-техническая конферен-

ция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. С. 2363–2368.

3. Домашенко Б.В. Разработка технологии и оборудования электроэрозионной прошивки капиллярных отверстий в атравматических иглах: дис. ... канд. техн. наук. Белгород: Изд-во БГТУ, 2007. 158 с.

4. Бойко А.Ф., Бративник Ю.М., Хукаленко Ю.А. Прецизионный станок 04ЭП10М для высокочастотной электроэрозионной прошивки отверстий малого диаметра // Электронная обработка материалов. 1983. №3. С. 76–78.

5. Пузачева Е.И. Совершенствование технологии малоизносной электроэрозионной обработки высокоточных малых отверстий: Автореф. дис. канд. техн. наук. Брянск, 2015. 22 с.

6. Юрьев А.Г. Основы научных исследований. Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. 87 с.

7. Погонин А.А., Бойко А.Ф., Блинова Т.А. Научно-исследовательская работа по специальности. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. 56 с.

8. Рогов В.А. Методика и практика технических экспериментов. М.: Изд-во «Академия», 2005. 288 с.

9. Горский В.Г., Адлер Ю.П. Планирование промышленных экспериментов. М.: Металлургия, 1974. 264 с.

### Boyko A.F., Pereverzev S.S., Loyko A.M., Shinkaryov I.Y. ANALYSIS OF AN ERROR OF MOVEMENT OF A COORDINATE TABLE OF THE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINE 04EP-10M

*Results of researches of accuracy of movements of a coordinate table of the electrical discharge machine of model 04EP-10M are presented in article. The technique of definition of an error of the specific manual drive of cross movement of a table has been developed and experimentally approved. It is established that the relative error of movement has made 1 %. Inexact installation of the micrometric screw on a corner of his turn concerning the direction of movement of a table is the reason of an error. As a result of calculations it is established that the error of installation makes about 1°. By results of researches the method of elimination of the revealed error has been offered and realized.*

**Key words:** *electrical discharge machine, coordinate table, movement error, experiment, micrometric screws.*

**Бойко Анатолий Федорович**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

**Переверзев Станислав Сергеевич**, аспирант кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: perewerzev.ctanislav@yandex.ru

**Лойко Алексей Михайлович**, аспирант кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.  
E-mail: lam.bel@mail.ru

**Шинкарев Иван Юрьевич**, аспирант кафедры технологии машиностроения. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.  
Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.