

## РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ВЕЛИЧИНЫ КОРРЕКЦИИ ТРАЕКТОРИИ РЕЗАНИЯ С РЕЖИМАМИ ПРОВОЛОЧНО-ВЫРЕЗНОЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Абляз Т. Р., Аликин Е. С., Плюснина С. С., Фурсинова Е. Р., Васильева А. А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, [lowrider11-13-11@mail.ru](mailto:lowrider11-13-11@mail.ru)*

В работе проведен регрессионный анализ процесса проволочно-вырезной электроэрозионной обработки. Целью анализа является получение эмпирической модели, позволяющей оценить влияние режимов резания, высоты и свойств обрабатываемой детали на величину коррекции траектории  $T$ , м. Исследования проводились на проволочно-вырезном электроэрозионном станке EcoCut по методике полного факторного эксперимента. В качестве образцов выбраны заготовки с разными физико-механическими свойствами: сталь 40Х по ГОСТ 4543-71 и титановый сплав марки BT5 по ГОСТ 19807-91. После проведенного регрессионного анализа было получено эмпирическое уравнение, характеризующее взаимосвязь между величиной погрешности и выбранными факторами. Полученная эмпирическая модель позволяет оценить влияние режимов резания, высоты и свойств обрабатываемой детали на величину коррекции при ПВЭО. Пользуясь полученным уравнением, можно оптимизировать процедуру подбора режимов резания.

Ключевые слова: проволочно-вырезная электроэрозионная обработка, электрод инструмент, точность, погрешность, пакетированная обработка.

## REGRESSION ANALYSIS OF CORRELATION BETWEEN CORRECTION CUTTING PATH AND MODES OF WIRE EDM

Ablyaz T. R., Alikin E. S., Plusnina S. S., Fursinova E. R., Vasiljeva A. A.

*Perm national research polytechnic university, Russia, Perm, 614990, Komsomolsky Av. 29, [lowrider11-13-11@mail.ru](mailto:lowrider11-13-11@mail.ru)*

In this paper presents a regression analysis of the wire-EDM. The purpose of the analysis is to provide an empirical model to assess the impact of the cutting, the height and the properties of the workpiece on the amount of correction to the trajectory  $T$ , m. Studies were carried out on wire-EDM machine-tool EcoCut by the method of full factorial experiment. The samples selected blanks with different physical and mechanical properties: 40Cr Steel in accordance with GOST 4543-71 and titanium alloy BT5 brand GOST 19807-91. After a regression analysis was obtained empirical equation characterizes the relationship between the magnitude of the error and selected factors. The resulting empirical model to evaluate the influence of cutting conditions, altitude and properties of the workpiece on the amount of correction in WEDM. Using this equation to optimize the procedure of selection cutting.

Keywords: wire electrical discharge machining, the electrode tool, precision, accuracy, stacked processing.

### Введение

Несмотря на широкое применение проволочно-вырезной электроэрозионной обработки (ПВЭО), данный метод не изучен в полной мере [1-3]. Актуальной проблемой является повышение точности изготовления деталей. Основной сложностью при проектировании управляющей программы для ПВЭЭ станков является правильный подбор величины коррекции траектории движения. Величина коррекции складывается из радиуса электрода-инструмента и величины межэлектродного зазора [4-6]. Так как в основе ПВЭЭО лежит электрическая искра, то зачастую становится невозможным разработать адекватную математическую модель. На машиностроительных предприятиях широкое применение

нашел способ пробных резов. Благодаря такому подходу операторам удается подобрать нужную величину коррекции при обработке конкретной детали. Основным недостатком такого подхода является снижение производительности при освоении новой детали.

Целью работы является получение эмпирической модели, позволяющей оценить влияние режимов резания, высоты и свойств обрабатываемой детали на величину коррекции траектории  $T$ , м.

### **Материалы и методы исследования**

В ходе исследования был проведен полный факторный эксперимент. Обработка результатов эксперимента и получение эмпирической формулы проводились при помощи регрессионного анализа.

В качестве экспериментального оборудования выбран проволочно-вырезной электроэрозионный станок EcoCut. В качестве электрода инструмента выбрана латунная проволока марки VercoCut диаметром 0,25 мм. В качестве рабочей жидкости используется чистая дистиллированная вода. Измерение полученных размеров осуществлялось на координатно-измерительной машине (КИМ) CarlZeissConturaG2 с поворотной головкой RDS. Для эксперимента выбраны заготовки с разными физико-механическими свойствами: сталь 40Х по ГОСТ 4543-71 и титановый сплав марки BT5 по ГОСТ 19807-91.

В основе регрессионного анализа лежат следующие предположения:

1. Все импульсы от электрода-провлоки проходят строго перпендикулярно к электроду-детали.
2. Величина зазора между заготовками минимальна и не учитывается.
3. Величина коррекции ( $T$ ) траектории резания представлена как разность между обрабатываемым размером детали, заданным в управляющей программе, и размером вырезанной детали.
4. При каждом сочетании значений независимых переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$  величина зависимой переменной  $Y$  подчиняется закону нормального распределения.
5. Дисперсия случайной величины  $Y$  постоянна.
6. Независимые переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  измеряются с пренебрежимо малой ошибкой по сравнению с ошибкой в определении  $Y$ .
7. Переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  линейно независимы;
8. Электропроводность диэлектрика постоянна.

В качестве основных факторов выбранных для проведения регрессионного анализа и влияющих на величину коррекции выбраны:

1. Скважность импульсов,  $q$ .
2. Коэффициент теплопроводности материала,  $\lambda$  (Вт/мК).

### 3. Высота заготовки, Н (м).

Каждый из факторов рассматривался на двух уровнях, верхнем и нижнем.

Таким образом, количество опытов равняется:

$$N = n^k = 2^3 = 8, (1)$$

Режимы обработки представлены в табл. 1.

Табл. 1. Режимы обработки

№ режима	I	II
$t_{on}, c$	0,000021	0,00001
$t_{off}, c$	0,00006	0,000021
U, В	50	50

Уровни и интервалы варьирования представлены в табл. 2.

Табл. 2. Интервалы варьирования

Факторы	Кодовое обозначение	Натуральные уровни факторов, соответствующие закодированным значениям			Интервал варьирования
		Верхний +1	Основной 0	Нижний -1	
q	X <sub>1</sub>	3,86	3,48	3,10	0,38
λ (Вт/мК)	X <sub>2</sub>	41	31	21	10
Н (м)	X <sub>3</sub>	0,012	0,018	0,024	0,006

В ходе эксперимента из заготовки вырезаются образцы квадратного сечения со стороной 5 мм. Управляющая программа создается без учета коррекции на размер электрода и межэлектродный зазор по номинальным значениям. После обработки замеряется ширина образцов как прямолинейное расстояние между сторонами. Измерение проводится на КИМ ConturaG2.

Результаты проведенных экспериментов представлены в табл. 3

Табл. 3. Результаты опытов

Номер опыта	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	y
1	+	-	-	-	+	+	+	-	0,140·10 <sup>-3</sup>
2	+	+	-	-	-	-	+	+	0,134·10 <sup>-3</sup>

3	+	-	+	-	-	+	-	+	$0,155 \cdot 10^{-3}$
4	+	+	+	-	+	-	-	-	$0,141 \cdot 10^{-3}$
5	+	-	-	+	+	-	-	+	$0,149 \cdot 10^{-3}$
6	+	+	-	+	-	+	-	-	$0,139 \cdot 10^{-3}$
7	+	-	+	+	-	-	+	-	$0,153 \cdot 10^{-3}$
8	+	+	+	+	+	+	+	+	$0,142 \cdot 10^{-3}$

Для проведения анализа зависимость между величиной коррекции траектории от исследуемых факторов представлена линейным уравнением регрессии.

После проведенного регрессионного анализа было получено эмпирическое уравнение, характеризующее взаимосвязь между величиной погрешности и выбранными факторами:

$$T = 10^{-3} \cdot (0,04 - 0,01q + 0,0004\lambda + 0,33H), \quad (2)$$

где  $T$  (м) – величина коррекции.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для анализа полученной регрессионной модели построены графики зависимости величины коррекции от факторов, рассмотренных в модели.

График зависимости величины коррекции от скважности импульсов представлен на рис.1.

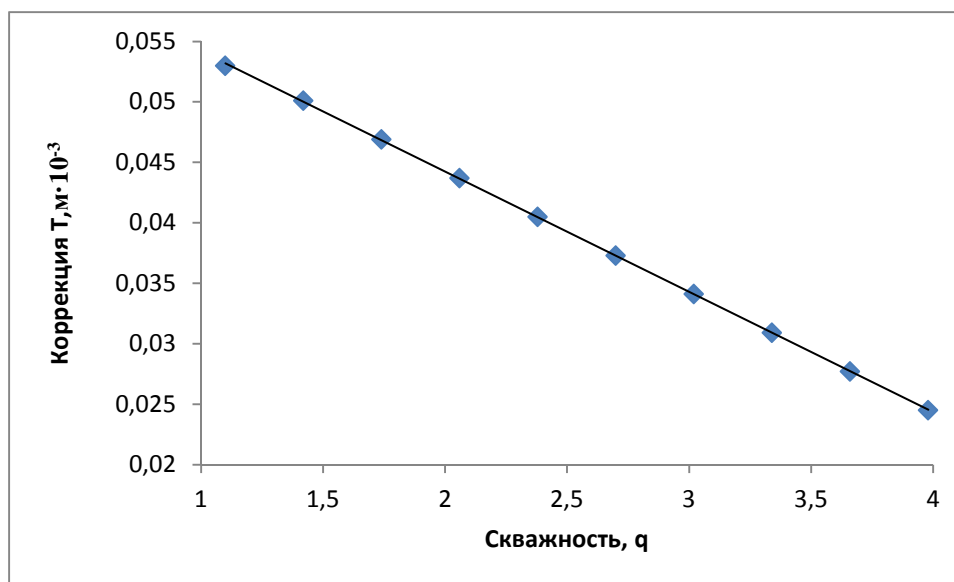


Рис.1. Зависимость величины коррекции от скважности импульсов

Из анализа графика следует, что величина коррекции обратно пропорциональна скважности импульсов. Увеличение времени действия импульсов  $t_{on}$  и уменьшение времени выключения импульсов  $t_{off}$  приводит к увеличению энергии импульсов, и, следовательно, увеличивается межэлектродный зазор.

Зависимость величины коррекции от теплопроводности обрабатываемого материала представлена на рис. 2.

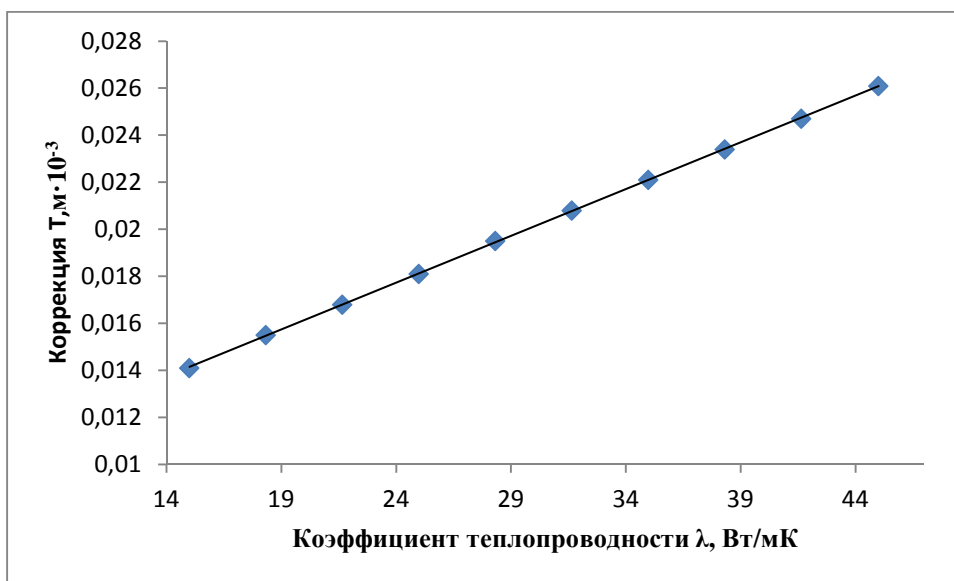


Рис. 2. Зависимость величины коррекции от коэффициента теплопроводности материала

Из графика видно, что при обработке материалов с низким коэффициентом теплопроводности величина коррекции меньше. Данная закономерность связана с физической сущностью процесса электроэрозионной обработки [4]. При резке заготовок с низким коэффициентом теплопроводности повышается локализация тепловой энергии в зоне обработки. Таким образом, межэлектродный зазор в процессе резания имеет постоянное значение, и происходит более равномерное снятие материала.

Зависимость величины коррекции от высоты заготовки представлена на рис. 3.

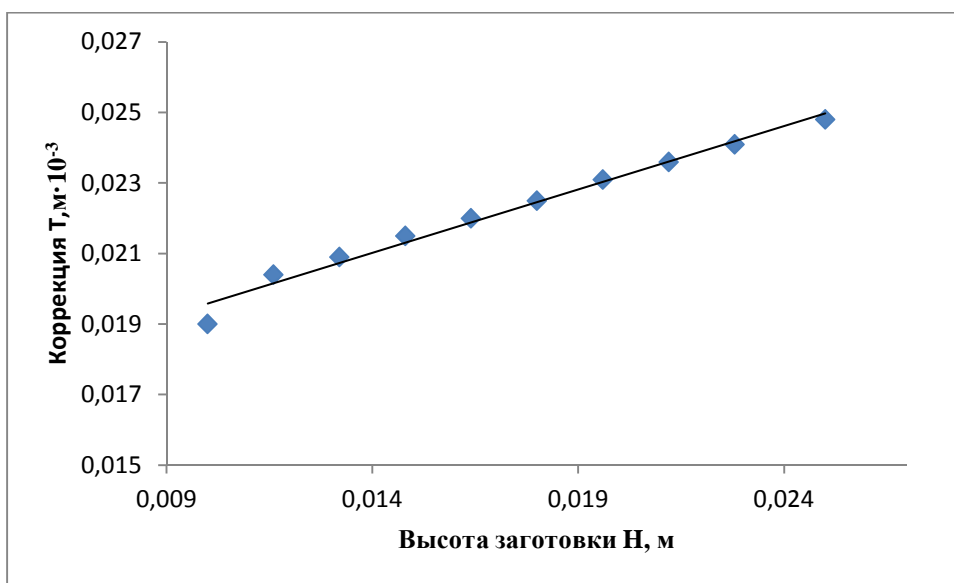


Рис. 3. Зависимость величины коррекции от высоты заготовки

Из графика следует, что при увеличении высоты заготовки увеличивается величина коррекции. При обработке высоких заготовок необходимо вносить в управляющую программу большую коррекцию на инструмент.

### **Выводы**

В ходе работы проведен регрессионный анализ и получена эмпирическая модель. Модель позволяет оценить влияние режимов резания, высоты и свойств обрабатываемой детали на величину коррекции при ПВЭЭО.

При проектировании технологического процесса проволочно-вырезной электроэрозионной обработки широкое применение находит метод пробных резов. Однако подобный метод является не технологичным и ведет к увеличению времени обработки детали. Пользуясь уравнением (2), можно оптимизировать процедуру подбора режимов резания для получения заданной точности обработки, без применения методики пробных резов.

### **Список литературы**

- 1.Абляз Т. Р. Изучение изменения свойств электродов в зависимости от режимов проволочно-вырезной электроэрозионной обработки // Вестник ПГТУ. Машиностроение, материаловедение. – 2011. – Т. 13, № 1. – С.87-93.
- 2.Журин А. В. Методы расчета технологических параметров и электродов-инструментов при электроэрозионной обработке: дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Тула: ТГУ, 2005. – 132 с.
3. Иванайский А. В., Свириденко Д. С., Рябцева А. В. Применение электроэрозионной обработки при производстве деталей машин // Технология машиностроения: обзорно-аналитический, научно-технический и производственный журнал. – 2013. – № 2. – С. 18-20.
- 4.Лазаренко Б. Р. Электрические способы обработки металлов и их применение в машиностроении / Б. Р. Лазаренко. – М.: Машиностроение, 1978. – 40 с.
5. Съянов С. Ю. Технологическое обеспечение качества поверхностного слоя деталей при электроэрозионной обработке: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Брянск: БГТУ, 2002. – 166 с.
6. Фотеев Н. К. Технология электроэрозионной обработки / Н. К. Фотеев. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.

### **Рецензенты:**

Иванов В. А., д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» Механико-технологического факультета ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.

Синани И. Л., д-р техн. наук, профессор кафедры «Сварочное производство и технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь.