



НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

15

**Харчова**  
**ПРОМИСЛОВІСТЬ**

КИЇВ НУХТ 2014

## AUTOMATIC CONTROL OF COMBUSTION STABILITY IN DEMENSIONAL EDM PROCESSING OF PARTS ARC

**B.M. Goncharenko, O.P. Lobok, D.D. Borisenko**

*National University of Food Technologies*

---

Key words:	ABSTRACT
EDM process automation Spark erosion Electric arc A selective correlation coefficient Extremum Likelihood ratio statistics Giving the effect Controller	This work is dedicated to creating an electric arc machining automated process control system, to improve quality and productivity machining by the items automating processing and the electric arc stability. Have been proposed solving these problems, the arc working point position finding at its current-voltage characteristics and setting action regulator problem was solved by using the determining the extremum mutual correlation between the signals of current and arc voltage. The structural diagram of the control system and its software are developed.
<b>Article history:</b> Received 1.07.2013 Received in revised form 7.12.2013 Accepted 14.12.2013	
<b>Corresponding author:</b> tmjpt_xp@ukr.net	

---

## АВТОМАТИЧНЕ КЕРУВАННЯ СТАБІЛЬНІСТЮ ГОРІННЯ ПРИ РОЗМІРНОМУ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ОБРОБЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ ДУГОЮ

**Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, Д.Д. Борисенко**

*Національний університет харчових технологій*

У роботі розглядається задача створення АСК процесом розмірного оброблювання деталей електричною дугою (РОД) з метою підвищення продуктивності обробки за рахунок забезпечення стабільності процесу горіння дуги та автоматизації процесу оброблювання деталей. Були запропоновані методи вирішення задач автоматичного визначення положення робочої точки дуги на її ВАХ і значення задавального впливу регулятора за допомогою визначення екстремуму вибіркового коефіцієнта взаємної кореляції між сигналами струму і напруги дуги. Розроблена структурна схема системи керування та її програмне забезпечення.

**Ключові слова:** автоматизація процесу РОД, електроерозійне оброблювання, електрична дуга, екстремум, вибіркового коефіцієнта кореляції, критерій відношення правдоподібності, задавальний вплив, регулятор.

© Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, Д.Д. Борисенко, 2013

**Вступ.** Електроерозійний спосіб металооброблювання заготовок є одним з сучасних технологічних процесів, що зменшують трудомісткість оброблювання електропровідних важкооброблюваних матеріалів.

Видалення металу із заготовки відбувається у середовищі оточуючого рідинного діелектрика за рахунок мікророзрядів, що розплавляють деяку частину металу. В міру зближення робочого електрода-інструмента з заготовкою напруженість електричного поля збільшується зворотно-пропорційно відстані між електродами або міжелектродного проміжку (МЄП):

$$E = \frac{U}{S}, \quad (2)$$

де  $U$  — різниця потенціалів електрода-інструмента та заготовки;  $S$  — величина зазору між електродами.

Найбільша напруженість створюється на ділянці, де зазор найменший, і де виникає дуга. При надмірному збільшенні МЄП можливий обрив дуги.

**Аналіз стану питання.** Схема технологічного процесу розмірного оброблення дугою (РОД) представлена на рис.1 [1].

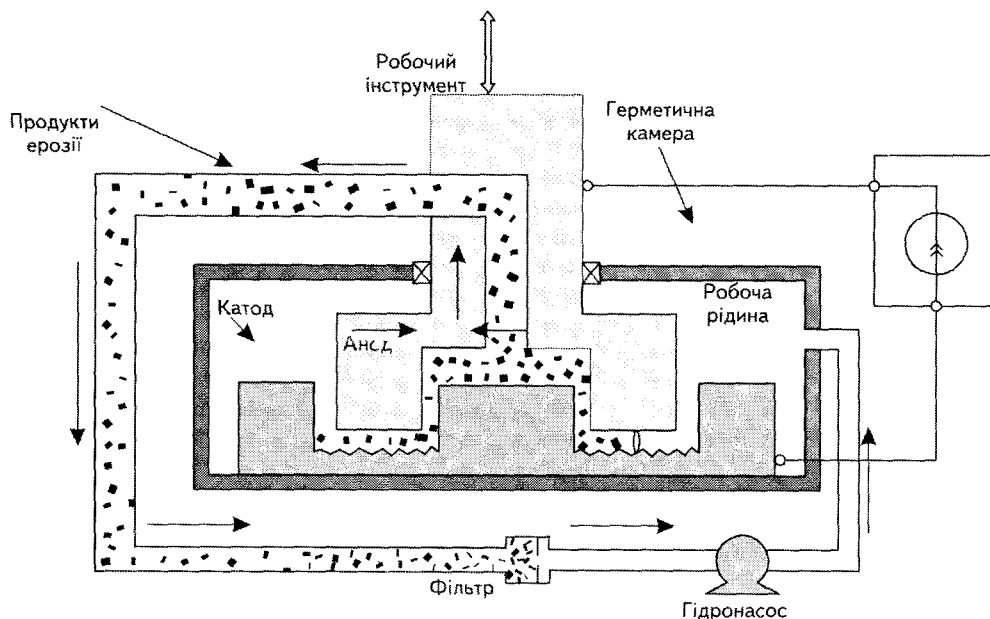


Рис. 1. Схема технологічного процесу розмірної обробки дугою

Видалення металу в процесі РОД виконується електричною дугою, що діє на малу частину поверхні електродів в місті електричного пробою. При цьому інша частина поверхні електроду не приймає участі в процесі знімання металу.

Таким чином, в МЄП серед інших можна виокремити два основні процеси: отримання продуктів ерозії, що забезпечується керуванням процесом горіння дуги, та їх виведення. Важливим технологічним показником процесу РОД, який визначає його ефективність, є продуктивність оброблювання  $W$ .

На даний час показники продуктивності оброблювання заготовки та стабільність горіння дуги не забезпечуються в достатньому ступені ні ручним керуванням, ні існуючою системою автоматичного керування. Тому виникає необхідність створення такого методу керування МЄП, який дозволив би не тільки максимально використати всі потенційні

можливості автоматичної системи, але і створити оптимальну систему автоматичного керування стабілізації горіння дуги при забезпеченні максимальної продуктивності.

В процесі РОД напруга горіння дуги  $U_d$  змінюється не тільки при змінюванні величини МЕР, але і в результаті змінювання положення робочої точки на вольт-амперній характеристиці (ВАХ) дуги. Недостатня ефективність керування процесом горіння дуги (її можлива нестабільність) є наслідком того, що значення задавального діяння  $U_{d,зад}$  регулятора напруги горіння дуги визначається дослідним шляхом і може не відповідати потрібному положенню робочої точки дуги на ВАХ (точці стійкого горіння дуги)  $U_{d,пр}$ , тобто горіння може втрачати стабільність. При компенсації похибки відхилення  $\xi$  напруги дуги  $U_d$  від заданого значення  $U_{d,зад}$  регулятор горіння дуги встановлює робочий інструмент на заданій глибині  $h$  заготовки, але за межею робочої області МЕР, а процес РОД порушується, бо горіння дуги переходить в режим або короткого замикання, або обриву дуги, тобто горіння втрачає стабільність.

**Мета статті.** Для створення регулятора напруги горіння дуги, вільного від зазначених недоліків, можна запропонувати метод визначення значення задавального діяння  $U_{d,зад}$  регулятора за екстремумом вибіркового коефіцієнта взаємної кореляції  $r$  між сигналами струму  $I_d$  і напруги дуги  $U_d$ .

**Виклад основного матеріалу.** Метод заснований на результатах досліджень учених інституту електрозварювання ім.Патона, які встановили, що в околі робочої точки ВАХ дуги змінювання значення струму  $I_d$  і напруги дуги  $U_d$  відбувається за лінійним законом. З цього випливає, що сигнали струму і напруги дуги в робочій точці ВАХ корельовані. Тому екстремум вибіркового коефіцієнта взаємної кореляції  $r$  строго відповідає шуканому положенню робочої точки на ВАХ дуги, а значення  $U_d$  приймається як значення задавального діяння регулятора МЕР.

Для перевірки ефективності застосування методу керування горінням дуги або МЕР була розглянута статистична гіпотеза про нерівність нулю коефіцієнта кореляції  $r$  двовимірної нормальної сукупності для струму дуги  $I_d$  і напруги дуги  $U_d$  в околі робочої точки ВАХ дуги. Нехай  $(i_1, u_1), (i_2, u_2), \dots, (i_n, u_n)$  — результати вимірювань в інтервалі робочих значень МЕР. Відомо, що вибірка має двовимірний нормальний розподіл з невідомими характеристиками.

Для виявлення кореляційної залежності двох випадкових сигналів досить визначити вибіркового коефіцієнта кореляції  $r$  і за його значенням зробити висновок про відповідність значень струму і напруги дуги в межах вибірки шуканого положення робочої точки ВАХ дуги  $U_{d,пр}$  на її вольт-амперній характеристиці, при  $r \rightarrow 1$ :

$$U_{d,зад} = U_d = U_{d,пр} | \max(r) \quad (1)$$

де  $r$  — вибіркового коефіцієнта кореляції:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (i_k - \bar{i}) * (u_k - \bar{u})}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (i_k - \bar{i})^2 * \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (u_k - \bar{u})^2}} \quad (2)$$

та 
$$\bar{i} = \frac{1}{n} * \sum_{k=1}^n i_k \quad \bar{u} = \frac{1}{n} * \sum_{k=1}^n u_k .$$

Значення вибіркового коефіцієнта кореляції  $r$  має екстремум, відповідно до оптимального положення робочої точки на ВАХ дуги. Значення вибіркового коефіцієнта кореляції  $r$  дорівнює нулю в режимах короткого замикання і обриву дуги у повній відповідності до виразу (2).

Залежність значення вибіркового коефіцієнта кореляції  $r$  від величини МЕР в процесі його зміни представлена на рис. 2.

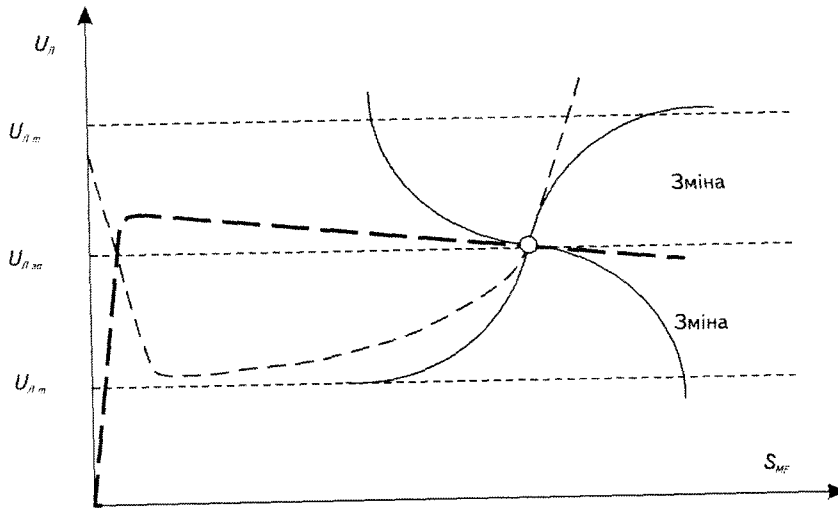


Рис. 2. Залежність значення вибіркового коефіцієнта кореляції  $r$  від величини  $S_{MEП}$  МЕП в процесі його змінювання

Для розв'язання задачі виявлення змінювання напруги дуги з мінімумом помилкових тривог доцільно використати статистичні методи [2] — наприклад, критерій відношення правдоподібності або критерій Неймана-Пірсона, який дозволяє мінімізувати час запізнювання у виявленні змінювання середнього значення напруги дуги з мінімумом помилкових тривог. Під помилковою тривою розуміють (рис. 3) прийняття гіпотези  $H_0$ , що викликає небажану реакцію регулятора на короточасні зміни напруги дуги і дестабілізує процес горіння дуги, в той час, коли істинна гіпотеза  $H_1$  прийнята з затримкою виявлення  $\tau_3$ , відповідає дійсній (не помилковій) зміні середнього значення напруги при обриві дуги  $U2_{cp}$ .

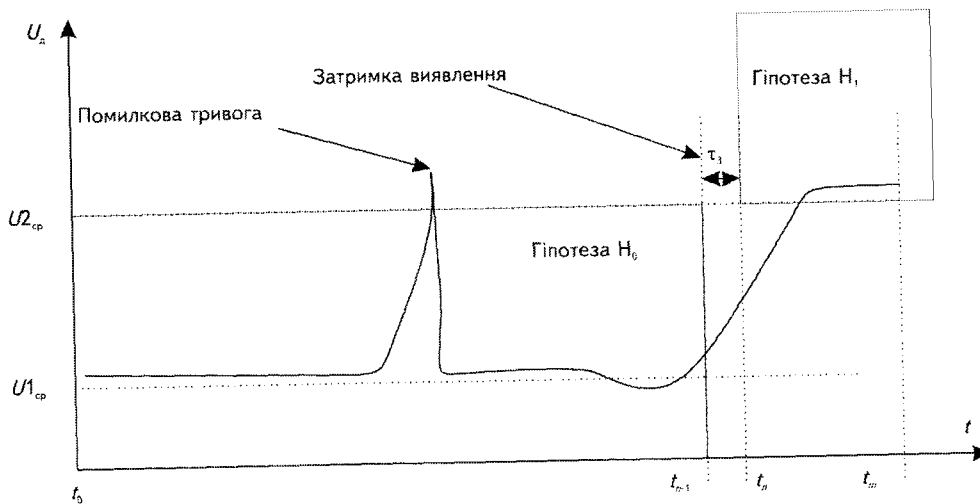


Рис. 3. Перевірка статистичних гіпотез для виявлення змінювання середнього значення напруги обриву дуги в процесі РОД

$U1_{cp}$  — середнє заданого значення напруги дуги при  $P_0(u_k)$  — щільності ймовірності виникнення зміни на інтервалі  $[0, t_{n-1}]$ ;  $U2_{cp}$  — середнє значення напруги дуги при її обриві та при  $P_1(u_k)$  — щільності ймовірності виникнення зміни на інтервалі  $[t_n, t_m]$ .

Завдання виявлення змін середнього значення напруги дуги вирішене на основі застосування теорії перевірки статистичних гіпотез за допомогою критерію відношення правдоподібності.

Алгоритм перевірки статистичних гіпотез для виявлення зміни середнього значення напруги дуги в процесі РОД також представлений на рис. 3.

Сигнал змінювання напруги дуги можна уявити у вигляді кусково-постійного сигналу з адитивною перешкодою, в якому в невідомі моменти часу відбувається змінювання середнього значення даного сигналу, як безліч вимірних значень напруги дуги  $\{u1_0, u1_1, \dots, u1_{n-1}\}$ , де  $t_{n-1}$  час до виникнення зміни, на інтервалі часу  $[0, t_{n-1}]$ , якому відповідає середнє значення напруги дуги  $U1_{cp}$ , а також безліч вимірних значень напруги дуги  $\{u2_0, u2_1, \dots, u2_m\}$ , де  $t_m$  час виникнення зміни на інтервалі часу  $[t_{n-1}, t_m]$ , якому відповідає середнє значення напруги при обриві дуги  $U2_{cp}$  (рис. 3).

На підставі результатів теоретичних досліджень була створена математична модель, яка адекватно представляє роботу системи керування процесом горіння дуги в МЕР в умовах впливу адитивних перешкод:

$$\left\{ \begin{array}{l} g_n = \max_{0 \leq k \leq n} \left[ \sum_{k=1}^n (u_k - \mu_0 + \frac{v}{2}) \right] - \sum_{k=1}^n (u_k - \mu_0 + \frac{v}{2}) \begin{array}{l} > \lambda \\ < \lambda \end{array} \begin{array}{l} H_1 \\ H_0 \end{array} \\ u(t) = K(\xi(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t \xi(t) dt) \\ g_n = \sum_{k=1}^n (u_k - \mu_0 - \frac{v}{2}) - \min_{0 \leq k \leq n} \left[ \sum_{k=1}^n (u_k - \mu_0 - \frac{v}{2}) \right] \begin{array}{l} > \lambda \\ < \lambda \end{array} \begin{array}{l} H_1 \\ H_0 \end{array} \end{array} \right. \quad (3)$$

де  $g$  — вибірковий коефіцієнт взаємної кореляції;  $\lambda$  — порогове значення критерію для прийняття гіпотези  $H_0$  або  $H_1$ ;  $u$  — керувальний вплив ПІ — регулятора величини МЕР;  $\mu_0$  — задавальний вплив;  $v$  — величина змінювання напруги дуги.

Математична модель функціонує тільки в умовах існування дуги, тобто, автоматизована система керування спочатку повинна виконати процедуру визначення необхідного положення робочої точки дуги на її  $S$  — подібній ВАХ і встановити значення задавального впливу регулятора, а потім перейти до керування процесом горіння дуги.

Математична модель системи керування процесом горіння дуги реалізується [3] наступним алгоритмом:

1. При відсутності зміни середнього значення напруги дуги та прийнятті гіпотези  $H_0$  регулятор напруги горіння дуги не реагує на зміни напруги дуги і адитивну перешкоду.
2. У разі прийняття гіпотези  $H_1$  здійснюється компенсація помилки відхилення  $\sigma$ , обнулення накопичувальної суми і прийняття гіпотези  $H_0$ .

На підставі математичної моделі створена структурна схема системи автоматичного керування процесом РОД із застосуванням кореляційних методів опрацювання сигналів величини вибіркового коефіцієнта взаємної кореляції і критерію відношення правдоподібності (рис. 4).

У систему керування введені такі блоки:

- блок керувальної програми всіма апаратними та програмними засобами РОД;
- блок програмного керування процесом оброблювання деталі;
- детектор змін середнього значення напруги дуги і прийняття гіпотез, на вхід якого надходить значення задавального впливу  $U_{д-зад}(\mu_0)$ , величина змінювання напруги  $n$ , яку необхідно виявити, порогове значення критерію  $l$  вибору гіпотези  $H_0$  або  $H_1$  і напруга дуги  $U_d$ . З виходу детектора на вхід пристрою керування надходять значення прийнятої гіпотези  $H_0$  або  $H_1$ ;

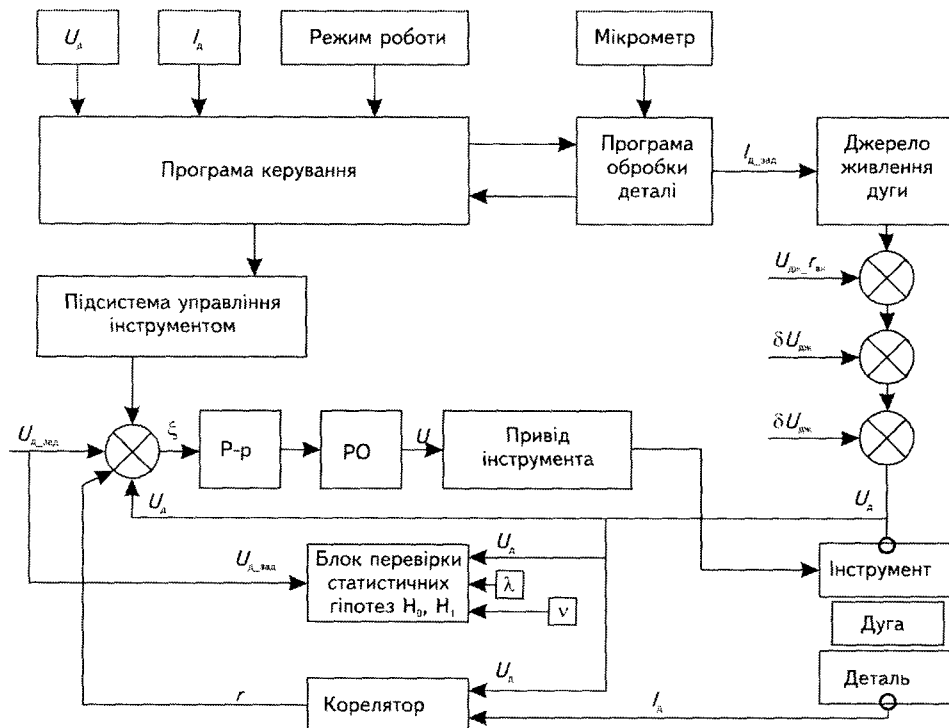


Рис. 4. Структурна схема системи автоматичного керування процесом РОД

– корелятор, на вхід якого надходять сигнали струму  $I_d$  і напруги дуги  $U_d$ , а з виходу знімається сигнал екстремуму вибіркового коефіцієнта  $r$  взаємної кореляції між сигналами струму  $I_d$  і напруги дуги  $U_d$ .

Робоча точка ВАХ дуги і задавальний вплив  $U_{d,зад}$  регулятора напруги горіння дуги визначається при екстремумі вибіркового коефіцієнта взаємної кореляції  $r$ .

Керування процесом горіння дуги здійснюється за відхиленням напруги дуги  $U_d$  від заданого значення  $U_{d,зад}$  з урахуванням прийнятої гіпотези  $H_1$  або  $H_0$ .

Часті спрацювання детектора зміни середнього значення напруги свідчить про факт зміщення робочої точки ВАХ дуги  $U_{d,рп}$  і необхідно виконати процедуру визначення задавального впливу  $U_{d,зад}$  регулятора.

Вихідними сигналами пристрою керування є команди:

- опустити інструмент;
- підняти інструмент;

Блок програмного керування процесом оброблювання деталі задає в процесі оброблювання необхідний струм дуги  $I_d$  на заданій глибині  $h$ .

Програмне керування струмом дуги і його обмеження при коротких замиканнях на рівні 5 % здійснюється у блоці керування джерелом живлення дуги.

Процес РОД може знаходитися в одному із станів: робочий режим, обрив дуги, коротке замикання, збудження дуги та визначення задавального впливу регулятора. Перехід з одного стану в інший може здійснюватися як в результаті виконання команд керувальної програми, так і під впливом подій процесу РОД.

**Висновки:** Створена автоматична система керування процесом РОД використовує методи:

– кореляційного автоматичного визначення необхідного положення робочої точки дуги на її вольт-амперній характеристиці і значення задавального впливу регулятора напруги горіння дуги;

– виявлення змін середнього значення напруги дуги здійснюється з використанням теорії перевірки статистичних гіпотез (критерію відношення правдоподібності).

Таким чином, комплексне використання цих методів дозволило розробити систему автоматизованого керування процесом РОД і розв'язати завдання стабілізації процесу горіння дуги та підвищення продуктивності оброблювання деталей у процесі РОД.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Смірнова Н.В.* Автоматизована система керування процесом розмірної обробки деталей електричною дугою: автореф. дис.канд. техн. наук./ Н.В. Смірнова. — Кіровоград, 2011. — 20 с.
2. *Обнаружение изменения свойств сигналов и динамических систем.* / М. Бассвиль, А.Вилски, А.Бенвекст и др.; пер. с англ. И.Б. Вильховченко. — М.: Мир, 1989. — 278 с.
3. *Борисенко Д.Д.* Автоматизована система управління процесом розмірної обробки деталей електричною дугою: автореф. маг.роб. на здоб. наук. ступ. маг. авт. упр.техн.проц. / Д.Д. Борисенко.— К.:НУХТ, 2013. — 12 с.

## АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТЬЮ ГОРЕНИЯ ПРИ РАЗМЕРНОЙ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ ДУГОЙ

**Б.Н. Гончаренко, А.П. Лобок, Д.Д. Борисенко**

*Национальный университет пищевых технологий*

*В работе рассматривается задача создания АСУ процессом размерной обработки деталей электрической дугой (РОД) с целью повышения продуктивности обработки за счёт обеспечения стабильности процесса горения дуги и автоматизации процесса обработки деталей. Были предложены методы решения задач автоматического определения положения рабочей точки дуги на её ВАХ и значения задающего влияния на регулятор с помощью определения экстремума выборочного коэффициента взаимной корреляции между сигналами тока и напряжения дуги. Разработана структурная схема системы управления и её программное обеспечение.*

**Ключевые слова:** автоматизация процесса РОД, электроэрозионная обработка, электрическая дуга, экстремум, выборочный коэффициент корреляции, критерий отношения правдоподобия, задающее влияние, регулятор.