



пермский
политех

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
ПЕРМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра ИТАС

ДОКЛАД

на тему

«РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ДЛЯ ЗАДАЧ СИМУЛЯЦИИ»

Докладчик: студент группы РИС-24-1м
Мехоношин Владислав Антонович
Научный руководитель: д.э.н., проф. каф. ИТАС
Долгова Елена Владимировна
Консультант по предметной области: к.т.н., доц. каф.
ИТАС Курушин Даниил Сергеевич
Соавтор: студент группы РИС-24-1м
Шепелев Вадим Михайлович

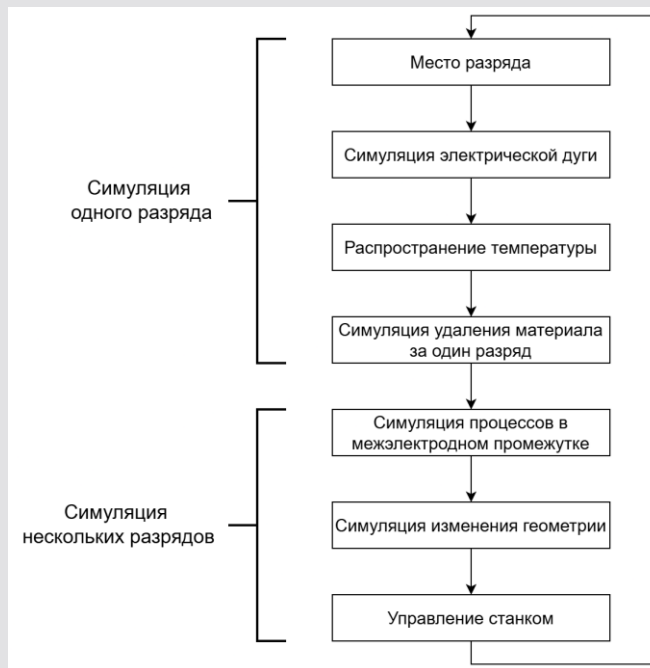
Объект исследования – объектом исследования является процесс электроэрозионной обработки, включая оборудование, используемое для этой цели, и методы, которые можно использовать для его моделирования в виртуальной среде.

Предмет исследования – предметом исследования является разработка алгоритмов и моделей, необходимых для создания реалистичного симулятора электроэрозионного станка.

Цель работы – реализация упрощенной модели, позволяющей симулировать процесс удаления материала с заготовки с учетом требований о работе симулятора в реальном времени.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- Проанализировать существующие подходы к моделированию процесса электроэрозионной обработки;
- Разработать математическую модель процесса электроэрозионного прошивания микроотверстий;
- Создать программное обеспечение для реализации разработанной модели;
- Провести экспериментальные исследования для проверки адекватности модели.



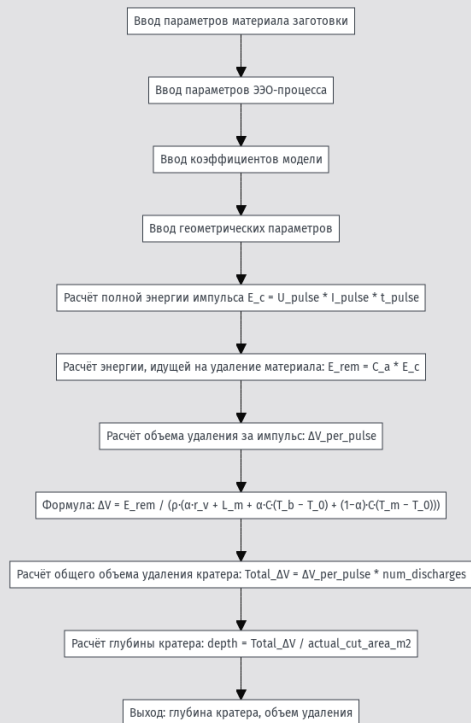
Обобщенная модель электроэрозионной обработки

Объем материала (ΔV), удаляемого за один импульс, рассчитывается по формуле, связывающей энергию, пошедшую на удаление, с теплофизическими свойствами материала и энергией, необходимой для его нагрева, плавления и испарения:

$$\Delta V = \frac{E_{rem}}{\rho \cdot (\alpha \cdot r_v + L_m + \alpha \cdot C \cdot (T_b - T_0) + (1 - \alpha) \cdot C \cdot (T_m - T_0))}$$

где:

- $E_{rem} = C_a \cdot U \cdot I \cdot t_i$ – энергия, затраченная на удаление материала;
- U – напряжение импульса;
- I – ток импульса;
- t_i – длительность импульса;
- C_a – коэффициент использования энергии;
- ρ – плотность материала заготовки;
- r_v – теплота испарения материала;
- L_m – теплота плавления материала;
- C – удельная теплоемкость материала;
- T_m – температура плавления материала;
- T_b – температура кипения материала;
- T_0 – начальная температура материала;
- α – коэффициент, представляющий долю материала, удаляемого за счет испарения (остальная часть $(1-\alpha)$ удаляется за счет плавления и последующего выброса).



Язык программирования: Python.

Краткое описание структуры скрипта:

- Модуль задания параметров.
- Функция расчета ΔV за импульс.
- Функция расчета глубины кратеров.
- Функция генерации OpenSCAD кода.

Для визуализации использовалась программа **OpenSCAD**.



Цель эксперимента: демонстрация работы модели, влияние числа разрядов.

Материал: Сталь С45.

Основные параметры ЭЭО:

- $U=160$ В,
- $I=8$ А,
- $t_{\text{pulse}}=100$ мкс,
- $D_{\text{electod}}=0.5$ мм.

Коэффициенты модели:

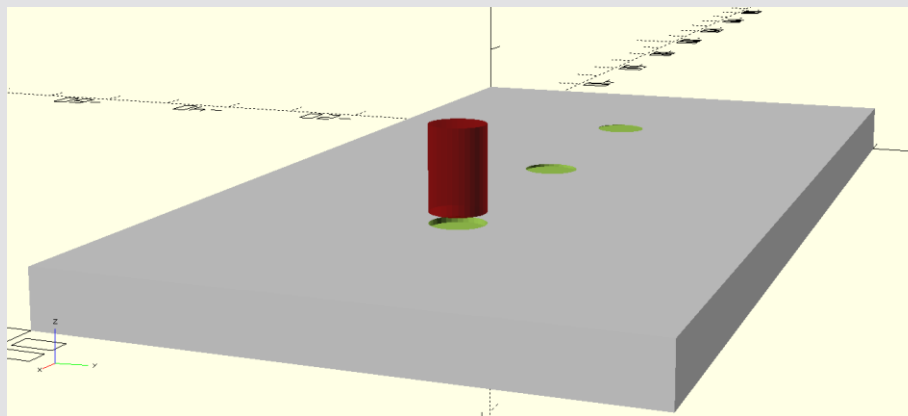
- $C_a=0.01$,
- $\alpha_{\text{factor}}=0.1$.

Количество разрядов для 3-х кратеров: 10 000, 50 000, 100 000.



ΔV за 1 разряд: 0,00009761216805833594 мм³

№ кратера	Кол-во разрядов	Объем удаленного материала	Глубина кратера
1	1000	0,0976 мм ³	0.0497 мм
2	50000	4,8806 мм ³	0.2486 мм
3	100000	9,7612 мм ³	0.4971 мм



Основные достигнутые результаты:

- Проанализирован процесс ЭЭО
- Проведен анализ методов моделирования процесса и выбрана модель ЭЭО.
- Разработан программный прототип.
- Продемонстрирована симуляция формирования кратеров и их визуализация.

Направления дальнейшей работы:

- Проведение физических экспериментов для валидации и калибровки модели.
- Расширение модели (учет износа электрода, свойств диэлектрика, сложной геометрии кратера).
- Развитие симулятора (GUI, интерактивность).
- Исследование стохастических аспектов.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Мехоношин Владислав Антонович
тел.: 8-952-318-65-68
e-mail: vladmexon@gmail.com