



7universum.com  
**UNIVERSUM:**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**UNIVERSUM:**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Научный журнал  
Издается ежемесячно с декабря 2013 года  
Является печатной версией сетевого журнала  
Universum: технические науки

Выпуск: 6(111)

Июнь 2023

Часть 1

Москва  
2023

УДК 62/64+66/69

ББК 3

U55

**Главный редактор:**

*Ахметов Сайранбек Махсутович*, д-р техн. наук;

**Члены редакционной коллегии:**

*Горбачевский Евгений Викторович*, канд. техн. наук;

*Демин Анатолий Владимирович*, д-р техн. наук;

*Дехканов Зулфикахар Киргизбаевич*, д-р техн. наук;

*Звезда Марина Юрьевна*, д-р. физ.-мат. наук;

*Ким Алексей Юрьевич*, д-р техн. наук;

*Козьминых Владислав Олегович*, д-р хим. наук;

*Ларионов Максим Викторович*, д-р биол. наук;

*Манасян Сергей Керопович*, д-р техн. наук;

*Мажидов Кахрамон Халимович*, д-р наук, проф;

*Мартышкин Алексей Иванович*, канд. техн. наук;

*Мерганов Аваз Мирсултанович*, канд. техн. наук;

*Пайзуллаханов Мухаммад-Султанхан Саидвалиханович*, д-р техн. наук;

*Радкевич Мария Викторовна*, д-р техн. наук;

*Серегин Андрей Алексеевич*, канд. техн. наук;

*Старченко Ирина Борисовна*, д-р техн. наук;

*Усманов Хайрулла Сайдуллаевич*, д-р техн. наук;

*Юденков Алексей Витальевич*, д-р физ.-мат. наук;

*Tengiz Magradze*, PhD in Power Engineering and Electrical Engineering.

**U55 Universum: технические науки:** научный журнал. – № 6(111). Часть 1.,  
М., Изд. «МЦНО», 2023. – 76 с. – Электрон. версия печ. публ. –  
<http://7universum.com/ru/tech/archive/category/6111>

ISSN : 2311-5122

DOI: 10.32743/UniTech.2023.111.6

Учредитель и издатель: ООО «МЦНО»

ББК 3

© ООО «МЦНО», 2023 г.

<b>Содержание</b>	
<b>Статьи на русском языке</b>	<b>5</b>
<b>Безопасность деятельности человека</b>	<b>5</b>
АНАЛИЗ ДАННЫХ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ОТХОДОВ В УЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ ГОРОДА ТАШКЕНТА Шипилова Камила Бахтияровна Туракулова Мехрбону Равшанжон кизи	5
<b>Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>10</b>
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВОГО ТРАФИКА Абдурахманов Рустам Паттахович Тожиева Феруза Кобулжон кизи	10
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ В ТОНКИХ ТЕЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ Нуралиев Фахриддин Муродиллаевич Тахиров Бехзод Насриддинович	14
<b>Машиностроение и машиноведение</b>	<b>18</b>
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОМБИНИРОВАННОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ОСАДКОЙ ФЛАНЦА МЕТОДОМ ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЯ «КОРПУС ПИКАБУРА» Ахмадалиев Шахрух Шухратович Сайдумаров Ботир Мурадович Фоменко Мария Анатольевна	18
ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ НАСАДКИ БАРАБАННЫХ СУШИЛОК Ахунбаев Адил Алимович	21
РОЛЬ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА ПРИ УПРАВЛЕНИИ СОВРЕМЕННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ Маткаримов Шухрат Адхамович	27
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВЕНТИЛЯТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОХЛАЖДЕНИЯ Муминов Жалолиддин Азизжон угли	29
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ КОМПОНЕНТАМИ СТАНКА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПАРАМЕТРОВ Эгамбердиев Илхом Пулатович Очилов Улугбек Юнусович Каримова Назокат Каландаровна	33
<b>Металлургия и материаловедение</b>	<b>36</b>
НАНОСИНЕРГЕТИКА - НОВОЕ НАПРАВЛЕНИЕ В МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ Аскарлов Баходиржон Жураев Зафар Ботирович Мадаминова Диёра Анваржон кизи	36
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ И ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ Юсупов Урал Саъдуллаевич Усманкулов Орифжон Назиралиевич Муминов Фаррух Юлдашбаевич	42
ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЫЛЕЙ И ГАЗОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОБЖИГЕ АЛМАЛЫКСКОГО МОЛИБДЕНОВОГО КОНЦЕНТРАТА Усманкулов Орифжон Назиралиевич Маткаримов Анвар Турсунбаевич Баратов Нурбек Яхшиликович Муносибов Шохрух Мухитдинович	46
<b>Приборостроение, метрология и информационно-измерительные приборы и системы</b>	<b>51</b>
МОДЕЛИ СОСТОЯНИЯ ДЛЯ ВОЗМУЩЕНИЙ ВОЛНОВОЙ СТРУКТУРЫ Холходжаев Боходир Асатуллаевич Даминов Камол Рузибой ўгли	51

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧНОСТИ В ТОНКИХ ТЕЛАХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

**Нуралиев Фахриддин Муродиллаевич**

*д-р техн. наук, профессор  
кафедры аудиовизуальных технологий,  
Ташкентский университет информационных технологий  
им. Ал-Хорезми,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [evrikiy@list.ru](mailto:evrikiy@list.ru)*

**Тахиров Бехзод Насриддинович**

*докторант,  
Бухарский государственный университет,  
Республика Узбекистан, г. Бухара*

## DETERMINATION OF THE ACTIONS OF MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROPLASTICITY PROCESSES IN THIN BODIES OF COMPLEX SHAPE

**Fahriddin Nuraliev**

*Doctor of Technical Sciences, Professor  
of the Department of Audiovisual Technologies,  
Tashkent University of Information Technologies  
named after Al-Khorezmi,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Behzod Takhirov**

*Doctoral student,  
Bukhara State University,  
Republic of Uzbekistan, Bukhara*

### АННОТАЦИЯ

Электропластичность в тонких телах сложной формы относится к пластической деформации, которая происходит в материале под совместным воздействием электрического тока и механических сил, особенно в тонких структурах со сложной геометрией. Моделирование электропластичности в телах сложной формы предполагает учет взаимосвязи электропроводности, теплопередачи и механической деформации. Целью статьи является определение действий математического моделирования процессов электропластичности в тонких телах сложной формы.

Методы математического моделирования могут быть использованы для учета взаимосвязанного поведения электропроводности, теплопередачи и механической деформации в процессах электропластичности. Эти модели помогают оптимизировать параметры технологического процесса, проектировать конфигурации электродов и прогнозировать конечную форму и качество тонких изделий сложной формы с гальваническим покрытием.

### ABSTRACT

Electroplasticity in thin bodies of complex shape refers to plastic deformation that occurs in a material under the combined influence of electric current and mechanical forces, especially in thin structures with complex geometry. Modeling of electroplasticity in bodies of complex shape involves taking into account the relationship of electrical conductivity, heat transfer and mechanical deformation. The purpose of the article is to determine the actions of mathematical modeling of electroplasticity processes in thin bodies of complex shape.

Mathematical modeling methods can be used to account for the interrelated behavior of electrical conductivity, heat transfer and mechanical deformation in electroplasticity processes. These models help to optimize process parameters, design electrode configurations and predict the final shape and quality of thin products of complex shape with electroplated coating.

**Ключевые слова:** моделирование, электропластичность, сложные формы, механическая деформация, теплопередача, управляющие уравнения.

**Keywords:** modeling, electroplasticity, complex shapes, mechanical deformation, heat transfer, control equations.

Электропластичность в тонких телах сложной формы относится к пластической деформации, которая происходит в материале под совместным воздействием электрического тока и механических сил, особенно в тонких структурах со сложной геометрией. Это явление обычно встречается в таких процессах, как гальванопластика, где осаждение металла достигается пропусканием электрического тока через проводящий раствор на подложку.

Моделирование электропластичности в тонких телах сложной формы предполагает учет взаимосвязи электропроводности, теплопередачи и механической деформации. Ниже приведены несколько ключевых аспектов, которые следует учитывать при моделировании электропластичности в тонких телах сложной формы.

*Электрическая проводимость.* Электрическое поведение системы регулируется законом Ома. В тонких телах сложной формы распределение плотности тока может быть неравномерным из-за различий в геометрии, контактных сопротивлениях или конфигурации электродов.

*Теплопередача.* В процессе нанесения гальванических покрытий выделяется тепло из-за электрического сопротивления и других факторов. Точное моделирование теплопередачи необходимо для понимания распределения температуры внутри тонкого тела. Уравнение теплопередачи, учитывающее условия теплопроводности, конвекции, излучения и тепловыделения, необходимо решить, чтобы определить температурный профиль и его влияние на механическое поведение.

*Механическая деформация.* Электропластичность включает в себя пластическую деформацию материала за счет комбинированного воздействия электрического тока и механических сил. Поведение при механической деформации может быть описано с использованием соответствующих определяющих моделей, которые связывают напряжение с деформацией. Эти модели могут включать в себя соображения об эластичности, пластичности и возможном вязкопластическом поведении в зависимости от свойств материала и приложенных усилий.

*Граничные условия.* Необходимо применить точные граничные условия, чтобы зафиксировать поведение системы. Эти условия могут включать распределение тока на границах раздела электродов, распределение температуры, механические ограничения или условия контакта. Выбор и реализация соответствующих граничных условий имеют решающее значение для точного представления процесса электропластичности.

*Свойства материала,* такие как электропроводность, теплопроводность, механические свойства и электрохимическое поведение, существенно влияют на процесс электропластичности. Эти свойства могут изменяться в зависимости от температуры и в некоторых случаях могут проявлять анизотропное поведение. Получение точных свойств материала с помощью экспериментальных характеристик или существующих источников данных важно для реалистичного моделирования.

*Электрохимические реакции.* В зависимости от процесса нанесения гальванических покрытий система может включать электрохимические реакции на поверхностях электродов. Понимание кинетики этих реакций необходимо для точного прогнозирования текущего распределения и скорости осаждения. Включение соответствующих электрохимических моделей, таких как уравнения Батлера-Волмера, может дать представление об электрохимическом поведении системы.

При моделировании электропластичности тонких тел сложной формы широко используются методы математического моделирования, такие как анализ методом конечных элементов, вычислительная гидродинамика или связанное мультифизическое моделирование, могут быть использованы для учета взаимосвязанного поведения электропроводности, теплопередачи и механической деформации в процессах электропластичности. Эти модели помогают оптимизировать параметры технологического процесса, проектировать конфигурации электродов и прогнозировать конечную форму и качество тонких изделий сложной формы с гальваническим покрытием.

Математическое моделирование процессов электропластичности в тонких телах сложной формы предполагает применение математических и вычислительных методов для моделирования и анализа поведения таких систем. Электропластичность относится к пластической деформации материала под воздействием электрического тока, обычно происходящей во время процессов гальванопластики.

Для создания более точной математической модели процессов электропластичности в тонких телах сложной формы рекомендуется выполнить следующие действия:

1) Определить геометрическую форму тела. Это можно сделать с помощью математических представлений, таких как параметрические уравнения, САПР-модели или поверхностные сетки.

2) Установить управляющие уравнения, описывающие физическое поведение системы. В случае электропластичности эти уравнения обычно включают взаимосвязь электропроводности, теплопередачи и механической деформации. Конкретные уравнения зависят от свойств материала, распределения тока и других факторов.

3) Применить граничные условия. Следует определить граничные условия для задачи, включая распределение плотности тока, распределение температуры и механические ограничения. Эти условия необходимы для определения поведения системы.

4) Решение уравнений численным методом. Поскольку аналитические решения часто неосуществимы для сложных геометрий и граничных условий, обычно используются численные методы, такие как анализ методом конечных элементов или методы конечных разностей. Эти методы дискретизируют геометрическую форму фигуры на небольшие элементы или ячейки и итеративно решают управляющие уравнения для получения приближенных решений.

5) Тестирование модели. Проверка математической модели путем сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными или аналитическими решениями для упрощенных случаев. Этот шаг помогает обеспечить точность и надежность модели.

6) Анализ чувствительности модели. Как только модель будет утверждена, можно провести анализ чувствительности, чтобы понять, как различные параметры и факторы влияют на процессы электропластичности. Этот анализ может дать представление об оптимизации технологического процесса, выборе материала и конструктивных особенностях.

7) Оптимизация процесса. Необходимо использовать математическую модель для оптимизации процессов электропластичности путем изменения технологических параметров, геометрии или свойств материала. Для поиска оптимального набора параметров могут быть использованы методы оптимизации, такие как алгоритмы на основе градиента или генетические алгоритмы.

Следуя этим рекомендациям в математическом моделировании процессов электропластичности в тонких телах сложной формы, можно получить ценную информацию о поведении системы, помочь в оптимизации процесса и внести свой вклад в разработку новых методов нанесения гальванических покрытий или электроформования.

Среди этих рекомендаций особое место занимает создание управляющих уравнений, описывающих физическое поведение системы в процессах электропластичности, предполагает рассмотрение соответствующих физических явлений и их математических представлений.

*Распространенные управляющие уравнения, используемые при моделировании электропластичности.*

Закон Ома – описывает взаимосвязь между плотностью тока ( $J$ ) и электрическим полем ( $E$ ) в проводящей среде. В области электропластичности плотность тока соотносится с электрическим потенциалом ( $V$ ) через проводимость ( $\sigma$ ) материала:

$$J = \sigma E \quad (1)$$

Сохранение заряда. Принцип сохранения заряда гласит, что ток, поступающий в объем, должен равняться току, выходящему из объема. Это может быть выражено в виде уравнения непрерывности:

$$\nabla \cdot J = 0 \quad (2)$$

где  $\nabla$  - электрический потенциал;

$J$  – электрическое поле.

Это уравнение отражает сохранение электрического заряда и гарантирует, что плотность тока не будет расходиться.

Уравнение теплопередачи. Процессы электропластичности включают в себя выделение и рассеивание тепла за счет электрического сопротивления и других факторов. Основное уравнение теплопередачи выражает общую зависимость для процессов теплопередачи, выражающее связь между тепловым потоком  $Q'$  и поверхностью теплообмена  $F$  и имеет следующий вид:

$$Q' = KF Dt \sigma_p t \quad (3)$$

где  $K$  — коэффициент теплопередачи, определяющий среднюю скорость передачи тепла вдоль всей поверхности теплообмена;

$Dt \sigma_p$  — средняя разность температур между теплоносителями, определяющая среднюю движущую силу процесса теплопередачи, или температурный напор;

$t$  — время.

Уравнения механической деформации. Процессы электропластичности часто приводят к пластической деформации материала. Механическое поведение может быть описано с помощью определяющих уравнений, которые связывают напряжение ( $\sigma$ ) с деформацией ( $\epsilon$ ). Конкретное определяющее уравнение зависит от материала и его характеристик пластической деформации, таких как изотропное или анизотропное поведение. Обычно используемые определяющие модели включают линейную упругость, модели пластичности (например, критерий текучести фон Мизеса) и вязкопластичные модели.

$$\sigma = E\epsilon + \sigma_{plastic} \quad (4)$$

где  $E$  - модуль упругости,

$\epsilon$  - деформация,

а  $\sigma_{plastic}$  представляет собой пластическую составляющую напряжения.

Электрохимические реакции. В некоторых случаях, процессы нанесения гальванических покрытий включают электрохимические реакции на поверхности электрода. Кинетика этих реакций может быть описана с использованием соответствующих электрохимических моделей, таких как уравнения Батлера-Фольмера или уравнения Тафеля, которые связывают плотность тока с перенапряжением или потенциалом электрода.

Эти уравнения, наряду с соответствующими граничными условиями, обеспечивают математическую основу для моделирования процессов электропластичности в тонких телах сложной формы. В зависимости от конкретных требований и сложности системы могут потребоваться дополнительные уравнения или модификации для учета таких факторов, как расход жидкости, массоперенос или поверхностные реакции.

**Список литературы:**

1. Нуралиев Фахриддин Муродиллаевич. Математическое моделирование процессов деформирования магнитоупругих пластин со сложной формой: автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук: 05.13.18.- Ташкент, 2000.- 16 с.
2. Нуралиев Ф.М., Тахиров Б.Н. Some issues of choosing and constructing a mathematical model of the electroelasticity of materials// Proceedings of the XXXI International Multidisciplinary Conference «Innovations and Tendencies of State-of-Art Science». Mijnbestseller Nederland, Rotterdam, Nederland. 2023.
3. Раппаз М., Жако А., Хримак А.Н. Численная модель процессов электроосаждения на изделиях сложной формы// Журнал электрохимического общества. 2002. - 149 (12), С614-С621.
4. Шах П., Сони В., Карки К.С. Математическое моделирование процесса нанесения гальванических покрытий сложной формы с неоднородной плотностью тока// Журнал электроаналитической химии 2016. - 769, С. 62-69.