

Защита проекта. Коллективное обсуждение результата проекта, самооценка деятельности

Проект «Электрический пробой»

Королёв Иван Андреевич Кудряшов Александр Николаевич Оганнисян Давит Багратович
Шуплецов Андрей Алексеевич Мугари Абдеррахим

17 мая 2025

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

Информация

- Кулябов Дмитрий Сергеевич
- д.ф.-м.н., профессор
- профессор кафедры прикладной информатики и теории вероятностей
- Российский университет дружбы народов
- kulyabov-ds@rudn.ru
- <https://yamadharma.github.io/ru/>



- **Королёв Иван Андреевич** — разработка теоретической модели, алгоритм
- **Кудряшов Александр Николаевич** — программная реализация, тестирование
- **Оганнисян Давит Багратович** — математическая модель, визуализация
- **Шуплецов Андрей Алексеевич** — анализ результатов, документация
- **Мугари Абдеррахим** — тестирование, подготовка презентации

Введение в проект

- **Электрический пробой** — явление резкого увеличения проводимости диэлектрика при достижении критического напряжения
- **Области применения:**
 - Электроэнергетика и линии передачи
 - Высоковольтное оборудование
 - Электронные и силовые установки
- **Значимость:**
 - Разработка материалов с повышенной устойчивостью
 - Оптимизация конструктивных решений
 - Предотвращение аварийных ситуаций

Цель проекта:

- Разработка алгоритма для численного моделирования электрического пробоя
- Реализация модели в виде программного комплекса
- Проведение вычислительных экспериментов

Задачи:

- Преобразовать физические уравнения в численные формы
- Выбрать оптимальные численные методы
- Разработать пошаговый алгоритм моделирования
- Учесть условия возникновения пробоя
- Создать программную реализацию
- Провести анализ результатов

Основные результаты проекта

Ключевые уравнения:

- Уравнение Пуассона: $\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\varepsilon}$
- Связь поля и потенциала: $\vec{E} = -\nabla \phi$
- Уравнение непрерывности: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{j} = 0$
- Модель ионизации (модель Тауна):
 $\alpha = A \exp\left(-\frac{B}{E}\right)$

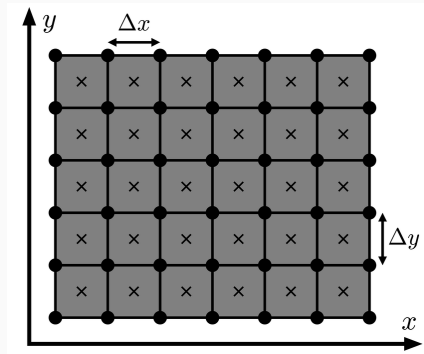


Рис. 1: Схема расчётной области

Пошаговый алгоритм:

1. Инициализация параметров среды
2. Решение уравнения Пуассона
3. Вычисление электрического поля
4. Моделирование движения носителей заряда
5. Решение уравнения непрерывности
6. Обработка условий пробоя
7. Анализ устойчивости и точности

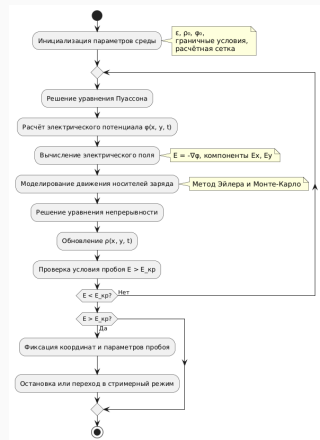


Рис. 2: Блок-схема алгоритма

Основные модули:

Решение уравнения Пуассона

```
def solve_poisson(phi, rho, epsilon):  
    for _ in range(5000):  
        phi_old = phi.copy()  
        phi[1:-1, 1:-1] = 0.25 * (  
            phi[:-2, 1:-1] + phi[2:, 1:-1] +  
            phi[1:-1, :-2] + phi[1:-1, 2:] +  
            dx**2 * rho[1:-1, 1:-1] / epsilon[1:-1, 1:-1]  
        )  
        if np.max(np.abs(phi - phi_old)) < tol:  
            break  
    return phi
```

Визуализация: - Распределение электрического потенциала - Электрическое поле - Точки пробоя и стримерные структуры

Основные выводы: - Подтверждение теоретических механизмов пробоя - Выявление зависимости от параметров среды - Демонстрация стримерного характера разряда

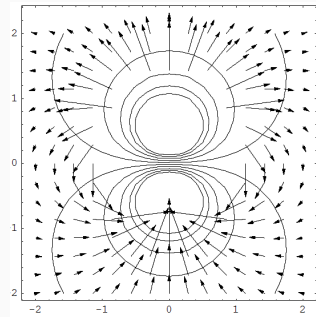


Рис. 3: Векторное поле электрического потенциала

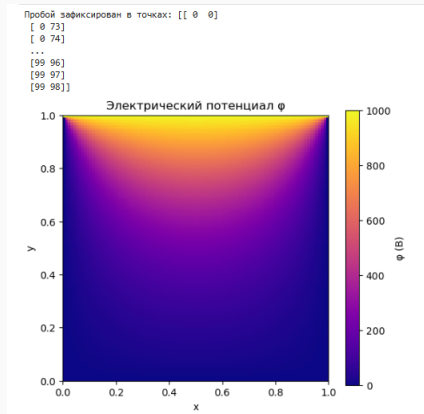


Рис. 4: Электрический пробой

Коллективное обсуждение результатов

Оценка выполнения задач

Задача	Результат	Оценка	
Преобразование физических уравнений	Реализована дискретизация основных уравнений	Выполнено	полностью
Выбор численных методов	Метод конечных разностей и метод Якоби	Выполнено	полностью
Разработка алгоритма	Создан 7-шаговый алгоритм	Выполнено	полностью
Учет условий пробоя	Проверка превышения порогового значения поля	Выполнено	полностью
Программная реализация	Создан программный комплекс	Выполнено	полностью
Анализ результатов	Визуализация и анализ данных	Выполнено	полностью

Комплексная модель электрического пробоя: - Учитывает основные физические законы -
Моделирует различные конфигурации и свойства среды - Включает механизмы ионизации

Эффективный алгоритм: - Метод конечных разностей для уравнения Пуассона -
Итерационный расчет потенциала - Модули определения точек пробоя

Программная реализация: - Современные средства программирования - Модульная
структура - Визуализация результатов

Вычислительная эффективность: - Метод Якоби требует большого числа итераций -
Значительное время расчетов при увеличении размерности

Физическая полнота модели: - Не учитываются температурные эффекты - Упрощенный
механизм ионизации - Двумерная модель вместо трехмерной

Численная устойчивость: - Возможные численные неустойчивости - Необходим
тщательный выбор шага по времени

Улучшение эффективности: - Переход к методу Гаусса-Зейделя или методу сопряженных градиентов - Оптимизация кода и параллельные вычисления

Расширение физической модели: - Учет температурных эффектов - Детальная модель ионизации - Трехмерное моделирование

Улучшение визуализации: - Интерактивная визуализация - 3D-визуализация стримерных структур - Анимация процесса

Валидация модели: - Сравнение с экспериментальными данными - Проверка на тестовых задачах

Самооценка деятельности

Разработка теоретической модели: - Изучение физических механизмов - Формулировка математической модели - Определение граничных условий

Создание алгоритма: - Разработка структуры - Выбор численных методов - Отладка и тестирование

Программная реализация: - Написание кода - Оптимизация - Тестирование

Анализ и документация: - Визуализация результатов - Интерпретация данных - Оформление отчетов и презентаций

Теоретические знания: - Углубленное понимание физики электрического пробоя -
Изучение математических моделей -
Освоение методов численного моделирования

Практические навыки: - Программирование на Python - Использование научных библиотек - Отладка и оптимизация кода

Командные навыки: - Опыт совместной работы над сложным проектом -
Коммуникация и координация -
Распределение задач

Презентационные навыки: - Подготовка технической документации - Представление научных результатов - Ведение научной дискуссии

Организация работы: - Равномерное распределение задач - Регулярные встречи и обсуждения - Совместное принятие решений

Коммуникация: - Эффективный обмен информацией - Конструктивное обсуждение проблем - Взаимопомощь при решении сложных задач

Сроки выполнения: - Работа выполнялась в соответствии с планом - Некоторые этапы потребовали больше времени, чем ожидалось

Положительные аспекты: - Успешная реализация всех этапов проекта - Достижение поставленных целей - Приобретение ценного опыта и знаний

Области для улучшения: - Более детальное планирование - Улучшение документирования кода - Расширение функциональности модели

Заключение

Основные результаты проекта: 1. Разработана математическая модель электрического пробоя 2. Создан алгоритм численного моделирования 3. Реализован программный комплекс 4. Проведена визуализация и анализ результатов

Практическая значимость: - Применение для исследований в области электрического пробоя - Использование в образовательных целях

Дальнейшие перспективы: - Расширение физической модели - Улучшение вычислительной эффективности - Разработка более детальной визуализации

Спасибо за внимание!
