

Моделирование канала электрического пробоя методом диффузной границы

Студент:

Пономарев Андрей Сергеевич

Научный руководитель:

Савенков Евгений Борисович

Консультант:

Зипунова Елизавета Вячеславовна

19.11.2024



Одномерное уравнение фазового поля

$$\frac{1}{m} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{1}{2} K_{\Phi}^2 \epsilon'(\phi) + \frac{\Gamma}{l^2} f'(\phi) + \frac{1}{2} \Gamma \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2}$$

- $\phi(\mathbf{x}, t)$ – фазовое поле
- $\epsilon(\mathbf{x}, t) = \frac{\epsilon_0(\mathbf{x})}{f(\phi(\mathbf{x}, t)) + \delta}$ – диэлектрическая проницаемость среды
- $f(\phi) = 4\phi^3 - 3\phi^4$ – интерполирующая функция



Разностная задача

$$\frac{1}{m} \frac{\phi_i^{j+1} - \phi_i^j}{\tau} = \frac{1}{2} K_\phi^2 \epsilon'(\phi_i^j) + \frac{\Gamma}{l^2} f'(\phi_i^j) + \frac{\Gamma}{2} \frac{\phi_{i+1}^j - 2\phi_i^j + \phi_{i-1}^j}{h^2}$$

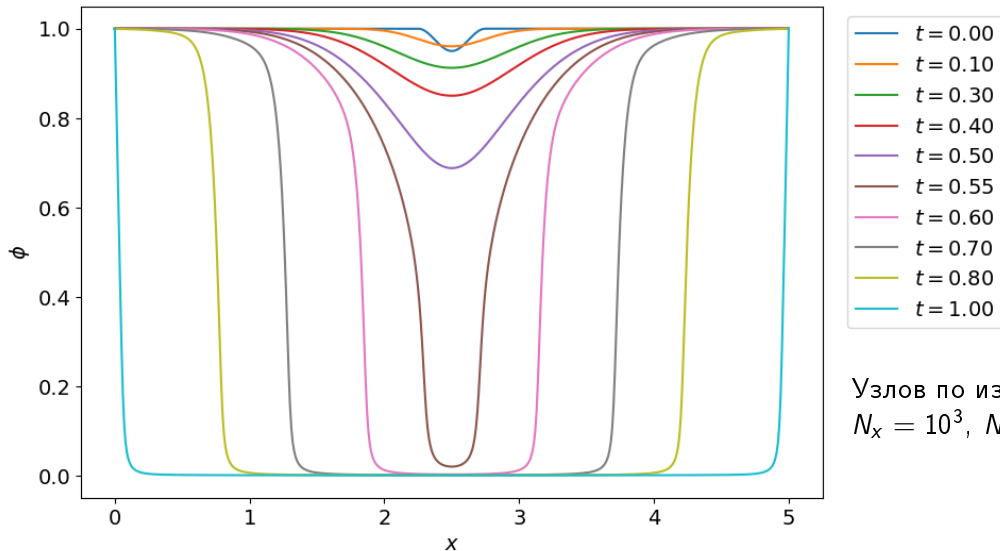
$$\phi_i^0 = \phi_0(ih); \quad \phi_0^j = \phi_l(j\tau); \quad \phi_n^j = \phi_r(j\tau)$$

Сетка регулярная; τ – шаг по времени, h – шаг по пространству.

Явная разностная схема первого порядка по времени, второго – по пространству.

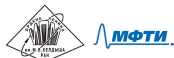


Типичное решение задачи



Узлов по измерениям:

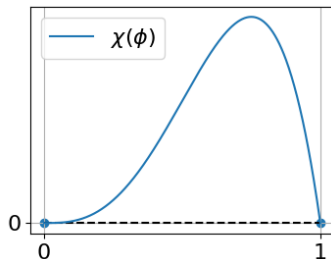
$$N_x = 10^3, N_t = 10^5$$



Результаты: анализ положений равновесия

«Слабое» напряжение

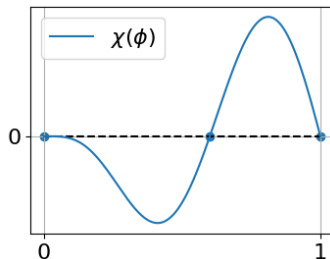
$$0 \leq \frac{K_{\Phi}^2 / \epsilon_0}{2\Gamma} < \delta^2$$



$\phi \equiv 0$ неустойчивое
 $\phi \equiv 1$ устойчивое

«Среднее» напряжение

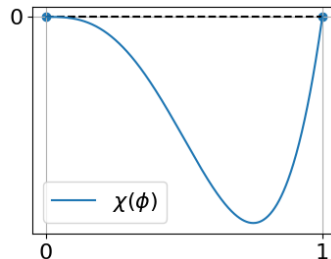
$$\delta^2 < \frac{K_{\Phi}^2 / \epsilon_0}{2\Gamma} < (1 + \delta)^2$$



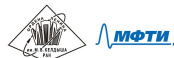
$\phi \equiv 0$ устойчивое
 $\phi \equiv C_3$ неустойчивое
 $\phi \equiv 1$ устойчивое

«Сильное» напряжение

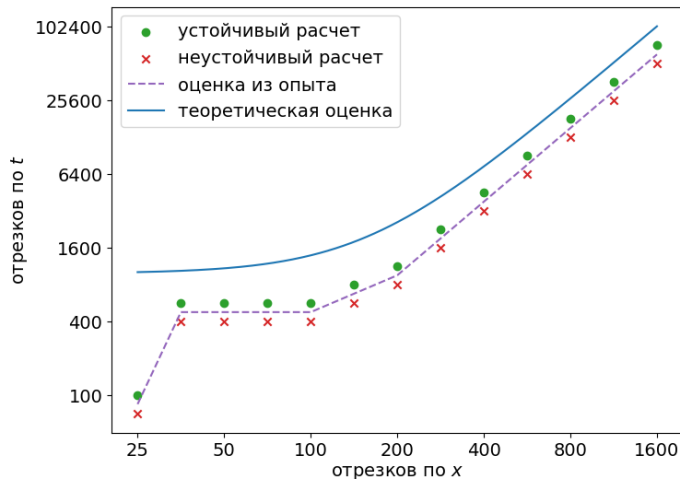
$$(1 + \delta)^2 < \frac{K_{\Phi}^2 / \epsilon_0}{2\Gamma}$$



$\phi \equiv 0$ устойчивое
 $\phi \equiv 1$ неустойчивое



Результаты: оценка устойчивости



Условие устойчивости

$$\tau \leq \frac{1}{2m} \left(\frac{K_{\Phi}^2 \epsilon_0}{\delta^{5/3}} + \frac{\Gamma}{h^2} \right)^{-1}$$



Результаты: исследование обобщения модели

- Поиск стационарного распределения фазового поля вокруг проводников различной конфигурации.
- Разностная схема получена методом конечных объемов.
- Представление функции-решения в виде ЛК базисных функций позволяет учесть возможную особенность на границе.



- Ponomarev A. S., Zipunova E. V., Savenkov E. B. Stability of stationary equilibrium solutions of a diffuse interface electrical breakdown model // Mathematical Models and Computer Simulations. **Принято в печать**
- Ponomarev A. S., Zipunova E. V. A finite-difference scheme for the generalized diffuse interface model of the electrical breakdown process // Mathematical Models and Computer Simulations. **Принято в печать**
- Пономарев А. С., Зипунова Е. В., Савенков Е. Б. Устойчивость стационарных решений в модели развития канала электрического пробоя типа «диффузной границы» // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. **Направлено в печать**
- Пономарев А. С., Зипунова Е. В., Савенков Е. Б. Численное исследование обобщения модели развития канала электрического пробоя типа «диффузной границы» // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. **Направлено в печать**



- Разработка алгоритма адаптивного интегрирования по времени.
- Настройка параметров модели для воспроизведения результатов физического эксперимента.



Спасибо за внимание!

