

**А. А. Григорьев**  
БГУИР (г. Минск, Беларусь)

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ХОЛЛА В СРЕДЕ MATHCAD**

Mathcad - система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением. Среда математического моделирования Mathcad используется в сложных проектах, чтобы визуализировать результаты математического моделирования, путем использования распределённых вычислений и традиционных языков программирования. Mathcad достаточно удобно использовать для обучения, вычислений как физических, так и инженерных расчетов. Открытая архитектура приложения в сочетании с поддержкой технологий .NET и XML позволяют легко интегрировать Mathcad практически в любые ИТ-структуры и инженерные приложения. Есть возможность создания электронных книг (e-Book). Возможности MathCAD не ограничиваются только расчетами. Используя графические возможности, можно построить необходимые графики и сделать исследуемое физическое явление наглядным.

Ещё одна доступная возможность при использовании данной программы – это возможность доступной подачи информации. Моделирование физических явлений с помощью новых технологий позволяет достаточно быстро и хорошо изучить явление.

В качестве прикладной задачи рассмотрим построение численной модели движения частиц с одним типом заряда в скрещенных электрическом и магнитных полях, что является модельной задачей для эффекта Холла. Для визуализации физических процессов воспользуемся следующими возможностями MathCAD: решение системы дифференциальных уравнений, построение интерполяционных кривых для функций координат и скоростей, построение анимированных графиков пространственных положений заряженных частиц.

Для численного решения системы дифференциальных уравнений, применим метод Рунге-Кутты 4-го порядка, которому в среде MathCad соответствует встроенная функция:

$$V_k := rkfixed(V0(k), t0, t1, N, D) \quad ,$$

где  $V0$  – вектор начальных скоростей и координат;  $t0 := 0$  – начальное значение времени;  $t1 := 0.45$  – конечное;  $N := 500$  – число разбиений данного временного интервала;  $D$  – векторная функция, составленная из выражений правых сторон системы дифференциальных уравнений для проекций скоростей и координат.

Временной интервал необходимо выбирать таким образом, чтобы при данных значениях первоначальных величин  $q, m, E, B$  можно было

наблюдать необходимую нам картину, а именно момент времени, когда траектория заряженной частицы только касается поверхности проводника. Для анализа траектории движения частицы перейдем от векторной формы 2-го закона Ньютона к системе дифференциальных уравнений 1-ого порядка для проекций скоростей и координат:

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{q \cdot B \cdot v_y}{m}, \quad \frac{dv_y}{dt} = \frac{q}{m}(B \cdot v_x - E), \quad \frac{dv_z}{dt} = 0, \quad \frac{dx}{dt} = v_x, \quad \frac{dy}{dt} = v_y, \quad \frac{dz}{dt} = v_z.$$

На рисунке 1 представлены траектории движения заряженных частиц в ДСК в зависимости от величины напряжённости электрического поля  $E$ . Приведённые формы траекторий являются фрагментами анимационного процесса в среде MathCad. Параметром анимации является шаг наращивания величины напряжённости электрического поля.

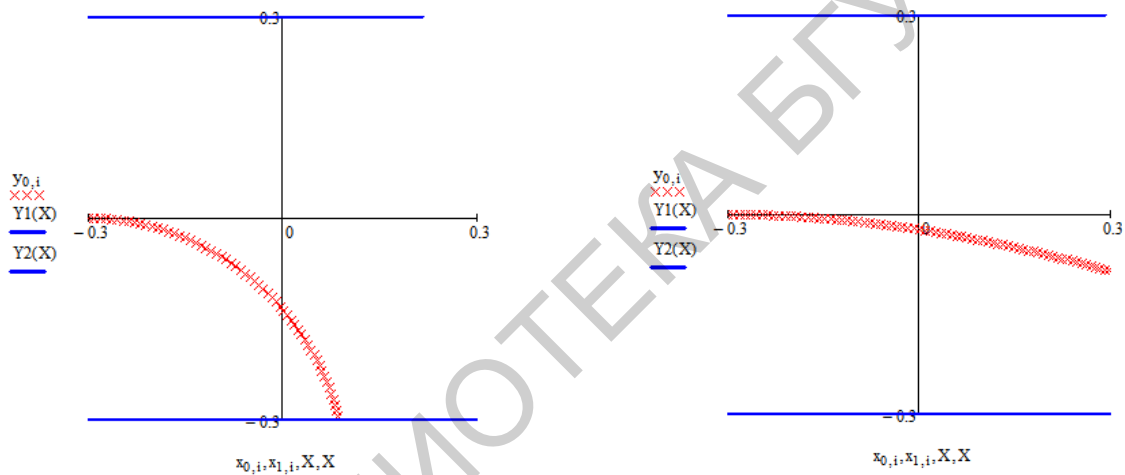


Рисунок 1– Графики траектории движения заряженных частиц

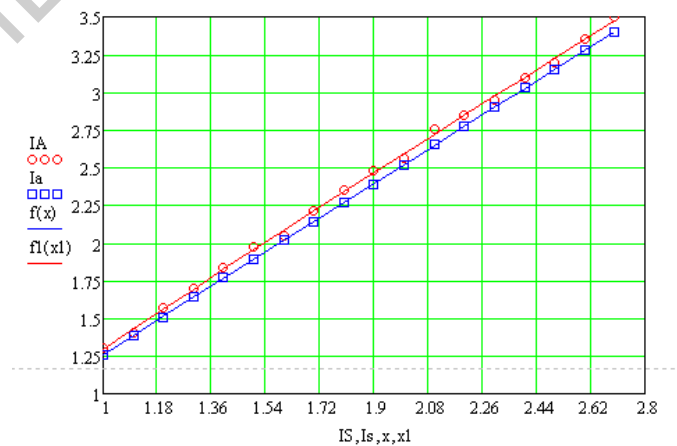


Рисунок 2 – Графики зависимости поперечного тока от тока в проводнике и фитурующие кривые для модельных и экспериментальных

данных;  $f(x)$  – фитирующая кривая для модельных значений;  $f_1(x_1)$  – фитирующая кривая для экспериментальных значений.

На рисунке 2 наблюдаем хорошее совпадение результатов моделирования и эксперимента, что говорит о качественно построенной и математически верно описанной модели.

Исследовав фитирующие кривые, можно заметить, что в целом, поперечный ток прямопропорционален току в проводнике. Это обусловлено тем, что при увеличении подаваемого напряжения, скорость движения электронов увеличивается, из-за чего воздействие магнитного поля на них увеличивается, что вызывает и увеличение разности потенциалов между стенками проводника, чтобы скомпенсировать все воздействия.

БИБЛИОТЕКА БГУИР