ИПМ им.М.В.Келдыша РАН

Абрау-2017 • Труды конференции

М.П. Галанин, П.В. Глизнуцина,
Д.Л. Сорокин

**Параллельная реализация расчёта
квазистационарного
электромагнитного поля в
устройствах сложной геометрической
формы**

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Галанин М.П., Глизнуцина П.В., Сорокин Д.Л. Параллельная реализация расчёта квазистационарного электромагнитного поля в устройствах сложной геометрической формы // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2017. — С. 106-108. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/21.pdf> doi:[10.20948/abrau-2017-21](https://doi.org/10.20948/abrau-2017-21)

Размещена также [презентация к докладу](#)

Параллельная реализация расчёта квазистационарного электромагнитного поля в устройствах сложной геометрической формы

М.П. Галанин¹, П.В. Глизнуцина¹, Д.Л. Сорокин¹

¹ ИППМ им. М.В. Келдыша РАН, 125047, Москва, Миусская пл., д. 4

Аннотация. Проанализированы методы нахождения нормального решения системы линейных алгебраических уравнений. Разработана методика введения «фиктивного якоря» как метода, альтернативного поиску нормального решения системы линейных алгебраических уравнений. Создана параллельная программная реализация разностной математической модели процесса ускорения макротела в канале электродинамического ускорителя типа рельсотрон.

Ключевые слова: электродинамический ускоритель, рельсотрон, система уравнений Максвелла, нормальное решение системы линейных алгебраических уравнений, метод «фиктивного якоря»

Перспективными ускорителями макротел являются электродинамические ускорители рельсотронного типа. В частности, такие устройства позволяют получать уникальные скорости макротел, превышающие скорости вылета из обычных пороховых ускорителей. Диапазон воспроизводимых результатов, полученных при разгоне твердых тел малой массы (порядка грамма) в рельсотроне, простирается до 8,5 км/с. Эффективная разработка таких устройств, а также исследование протекающих в них явлений, без математического моделирования невозможны.

Электрическая проводимость рельсов и якоря исследуемых ускорителей достаточно высока, поэтому для описания процессов используем систему уравнений Максвелла в магнитогидродинамическом приближении [1].

Для аппроксимации системы уравнений Максвелла в квазистационарном приближении используем метод опорных операторов, т.е. разностные операторы, аппроксимирующие основные операторы векторного анализа (rot , div , grad), строим на основе инвариантных определений, не зависящих от выбора системы координат [2].

При моделировании процесса ускорения макротела важно иметь возможность корректно моделировать токи, учитывая скин-эффект, в областях сложной геометрической формы. С этой целью необходимо проводить расчёты на достаточно подробной сетке, что в свою очередь приводит к увеличению числа неизвестных и размера системы линейных алгебраических уравнений.

Для уменьшения времени решения задачи реализована возможность проведения расчёта на вычислительном кластере.

Одним из способов увеличить магнитное поле в канале ускорителя является использование системы подмагничивания, которая представляет собой совокупность проводников (рельсов подмагничивания), по которым протекает электрический ток. При этом энергопитание системы подмагничивания производится от отдельного электрического источника. Моделирование процессов, протекающих в ускорителях с системами внешнего подмагничивания, характеризуется тем, что подобласть, содержащая проводящие тела, является несвязной.

В [1] проведено исследование системы уравнений Максвелла в квазистационарном приближении в неоднородных областях с односвязной диэлектрической подобластью при различных способах задания граничных условий и показано, что несвязность объединения проводящих подобластей и границы γ_{12} ($\gamma_{12} = \partial G_{12} \cup \Gamma_{12}$, ∂G_{12} — граница между проводником и диэлектриком, Γ_{12} — граница диэлектрика, на которой задано условие 1 рода) может привести к неединственности решения задачи, т. е. ядро оператора задачи будет непустым. Для получения единственного решения системы с вырожденной матрицей необходимо искать нормальное решение задачи [1, 3], т.е. решение, обладающее минимальной нормой.

Альтернативным способом решения задачи является введение дополнительных элементов («фиктивных якорей»), превращающих многосвязную область в односвязную, но слабо влияющих на электромагнитное поле в исследуемой области [4].

Корректность метода введения «фиктивного якоря» подтверждается сравнением результатов расчётов, в которых использованы разные методы выделения единственного решения (поиск нормального решения системы линейных алгебраических уравнений и введение «фиктивного якоря»). Также стоит отметить, что и математическая и численные модели обеспечивают сохранение полного тока во всех сечениях ускорителя (относительная ошибка сохранения полного тока не превышает 0,01%) и равенство нулю дивергенции векторного потенциала в диэлектрике и на его границе с проводником.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-03073).

Литература

- [1] Галанин М.П., Попов Ю.П. Квазистационарные электромагнитные поля в неоднородных средах: Математическое моделирование. — М.: Наука; Физматлит, 1995. — 320 с.
- [2] Уразов С.С. Математическое моделирование многомерных квазистационарных электромагнитных полей в канале электродинамического ускорителя : дис. канд. ф.-м. наук : 05.13.18 — М., 2007. — 120 с.

- [3] Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. — М.: Наука, 1978. — 592 с.
- [4] Галанин М.П., Сорокин Д.Л. Расчёт квазистационарных электромагнитных полей в областях, содержащих несвязные проводящие подобласти // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2017. № 19. 24 с.