РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В МНОГОМАСШТАБНЫХ ЗАДАЧАХ ДИФРАКЦИИ МЕТОДОМ МОМЕНТОВ

В.М. Аушев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва
T1 Интеграция, г. Москва

aushevvm@gmail.com

Моделирование рассеяния электромагнитных волн на сложных комбинированных структурах, содержащих проводящие и диэлектрические материалы, является одной из ключевых задач прикладной электродинамики. Особый интерес представляет анализ таких объектов в X-диапазоне (8-12 ГГц), который широко используется в радиолокации, спутниковой связи и системах дистанционного зондирования. Точный расчет эффективной площади рассеяния (ЭПР) в этом диапазоне частот необходим как для разработки малозаметных летательных аппаратов, так и для оптимизации антенн и радиопоглощающих покрытий [1, 2].

Важным аспектом моделирования в области высоких частот, в частности, в X-диапазоне, является учет радиопоглощающих материалов (РПМ), которые применяются для снижения уровня рассеяния и минимизации электромагнитных помех [1–3]. Современные РПМ, такие как углепластик, благодаря своим электромагнитным и прочностным свойствам находят применение в авиационной и космической промышленности, а также в военной технике. Корректное численное моделирование объектов с подобными материалами требует использования точных и вычислительно эффективных методов. Одним из таких инструментов для моделирования рассеяния электромагнитных волн является метод моментов, основанный на представлении решения в интегральном виде и требующий решения соответствующих интегральных уравнений [4]. Однако его прямое применение к большим объектам, содержащим десятки миллионов неизвестных, сопряжено с крайне высокими вычислительными затратами. В связи с этим в данной работе для решения системы интегральных уравнений применяется многоуровневый быстрый метод мультиполей (MLFMM), который позволяет снизить вычислительную сложность до $O(N)$ и $O(N\log N)$ в области низких и высоких частот соответственно [5].

Задачи, представляющие практический интерес, могут содержать не только миллионы неизвестных, но и компоненты разных пространственных масштабов. В результате при дискретизации расчетной области возникают элементы, линейные размеры которых отличаются на несколько порядков, что может значительно замедлить сходимость при решении СЛАУ итерационным методом. Для решения подобных задач мы предлагаем новый тип предобуславливателя, основанный на анализе топологических связей между элементами расчетной сетки в комбинации с локальными геометрическими характеристиками. Такой подход позволяет значительно сократить число итераций при решении системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) по сравнению с классическими предобуславливателями, особенно в случае многомасштабных геометрий.

В данной работе проводится численный анализ рассеяния электромагнитных волн на объектах сложной формы, включая идеальные проводники и диэлектрики, а также конструкции, содержащие радиопоглощающие материалы. Проведено сравнение с коммерческим программным обеспечением CST Studio Suite, использующим решатель на основе тех же интегральных уравнений, которые мы рассматриваем в работе. Кроме этого, реализованный программный комплекс верифицирован в широком диапазоне частот на тестовой задаче рассеяния на сфере, имеющей аналитическое решение. Показана эффективность предложенного метода для решения задач с десятками миллионов неизвестных на частотах до 18 ГГц для объектов метровых размеров.

Список литературы:

1. Knott E.F., Shaeffer J.F., Tuley M.T. Radar cross section. Raleigh: SciTech Publishing, 2004. 611 P.
2. Anand S. Planar polarization rotation reflective surface for X-band RCS reduction in microstrip patch antenna // Adv. Elect. Eng. Electron. Energy. 2023. Vol. 4. P. 100164.
3. Junior M.A.D.A. Influence of the permittivity on carbon fiber particulates applied in radiation absorbing materials // GJRE. 2017. Vol. 17. Issue F8. P. 7–14.
4. Jin J.-M. Theory and computation of electromagnetic fields. Hoboken: Wiley, 2010. 588 P.
5. Gumerov N.A., Duraiswami R. Fast multipole methods for the Helmholtz equation in three dimensions. Oxford: Elsevier. 2004. 426 P.