

Численное исследование задачи рассеяния радиоволн на осесимметричном теле

Н.А. Конопелько

Московский физико-технический институт
141700, Московская область, г. Долгопрудный, ул. Первомайская 30/3
konopelkon@gmail.com

Рассматривается задача достоверности численного расчета ЭПР идеально проводящего тела осесимметричной формы методом конечных элементов с использованием псевдограничных условий согласованного слоя. Сравнение результатов с расчетами по методу моментов выявили случаи значимого расхождения решений в области резонансного рассеяния.

The problem of reliability of numerical calculation of perfectly conducting axisymmetric body's RCS by the finite element method with perfectly match layer pseudo boundary conditions is considered. Comparison of the results with calculations by the method of moments reveals cases of significant divergence between solutions in scattering resonance zone.

Идентификацию объектов в радиолокации можно провести по спектру отраженного сигнала и значению эффективной поверхности рассеяния (ЭПР). Для удаленных (точечных) рассеивателей ЭПР служит мерой их видимости для радара. Поскольку точные решения задачи определения ЭПР в общем случае не найдены, было разработано несколько подходов ([1]-[3]) для ее приближенного решения: аналитический, численный и комбинированный. Когда размеры тела сопоставимы с длиной падающей плоской монохромной волны λ — зона резонансного рассеивания, — вопрос точности или достоверности решения исследуется сопоставлением результатов, полученных методом конечных элементов (МКЭ) в частотной области и методом моментов (МоМ).

Для сравнения методов решалась задача рассеяния радиоволн на осесимметричных телах: шар, цилиндр, конус и цилиндр с коническим основанием.

В результате численных экспериментов для различных λ и двух ориентаций рассеивателя получена зависимость его эффективной площади рассеяния (ЭПР) от углов φ и θ , представленных на рисунке 1.

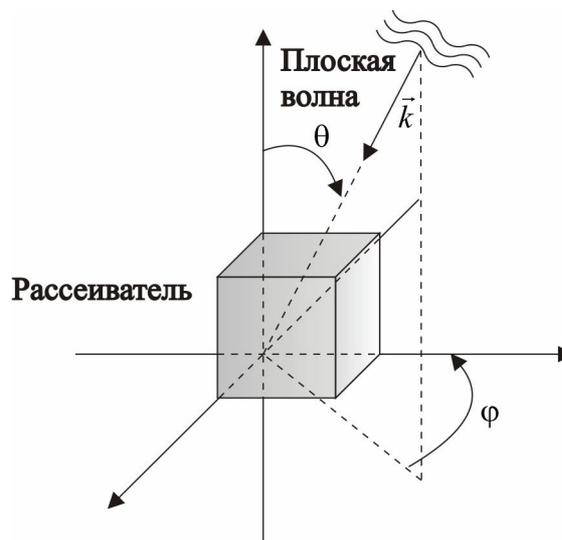


Рис. 1. Система координатных углов расчетной задачи

Рассмотрим результаты расчетов по методу МКЭ и МоМ. Следует отметить, что для шара, конуса и цилиндра существенных отличий не наблюдалось. На рисунках 2а и

2б показаны результаты расчётов ЭПР сферы при длине падающей волны $\lambda=0,75\text{м}$ и диаметре сферы 1м.

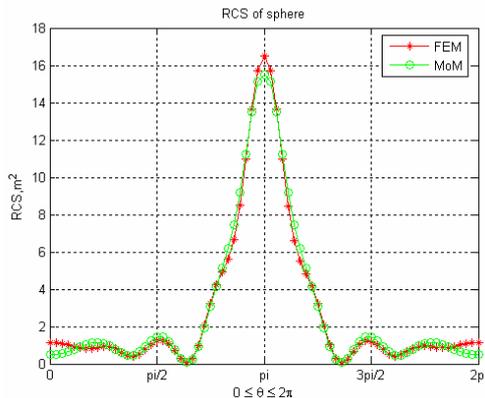


Рис. 2а. ЭПР сферы в м^2

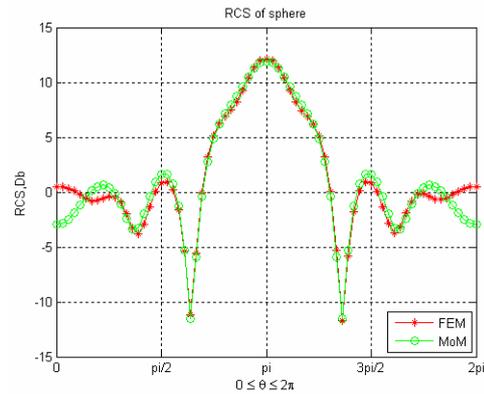


Рис. 2б. ЭПР сферы в Дб

Наблюдается хорошая сходимость результатов во всей области измерения ЭПР, за исключением краёв. Расхождение в этих областях происходит из-за недостатков в разбиении поверхности на конечные элементы в МКЭ.

Численные эксперименты проводились для различных размеров конечных элементов. На рисунке 3 показаны результаты расчётов ЭПР цилиндра при длине падающей волны $\lambda = 0,67 \text{ м}$ для двух значений размера КЭ.

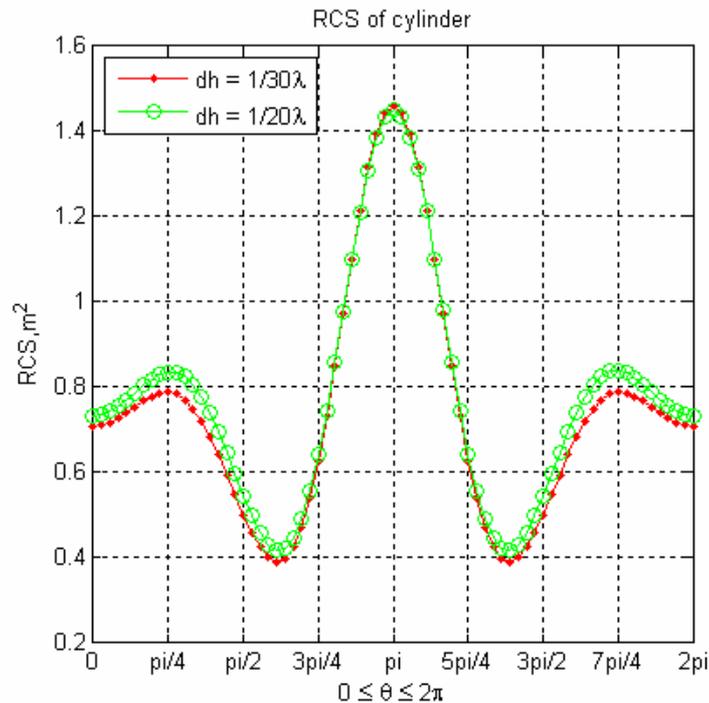


Рис. 3. ЭПР цилиндра в м^2

Из графиков видно, что результаты сходятся в области обратного отражения излучения ($\theta=180$).

На рисунке 4 приведены результаты расчёта ЭПР конуса для различных направлений падения плоской волны, $\theta=0$ — волна падает на вершину конуса, $\theta=180$ — на его основание. Значение ЭПР на графике указано соответственно: $\theta=$ —

рассеяние от вершины конуса, $\theta=180$ — от его основания. В этом случае разница заметнее, особенно при рассеянии в сторону вершины конуса.

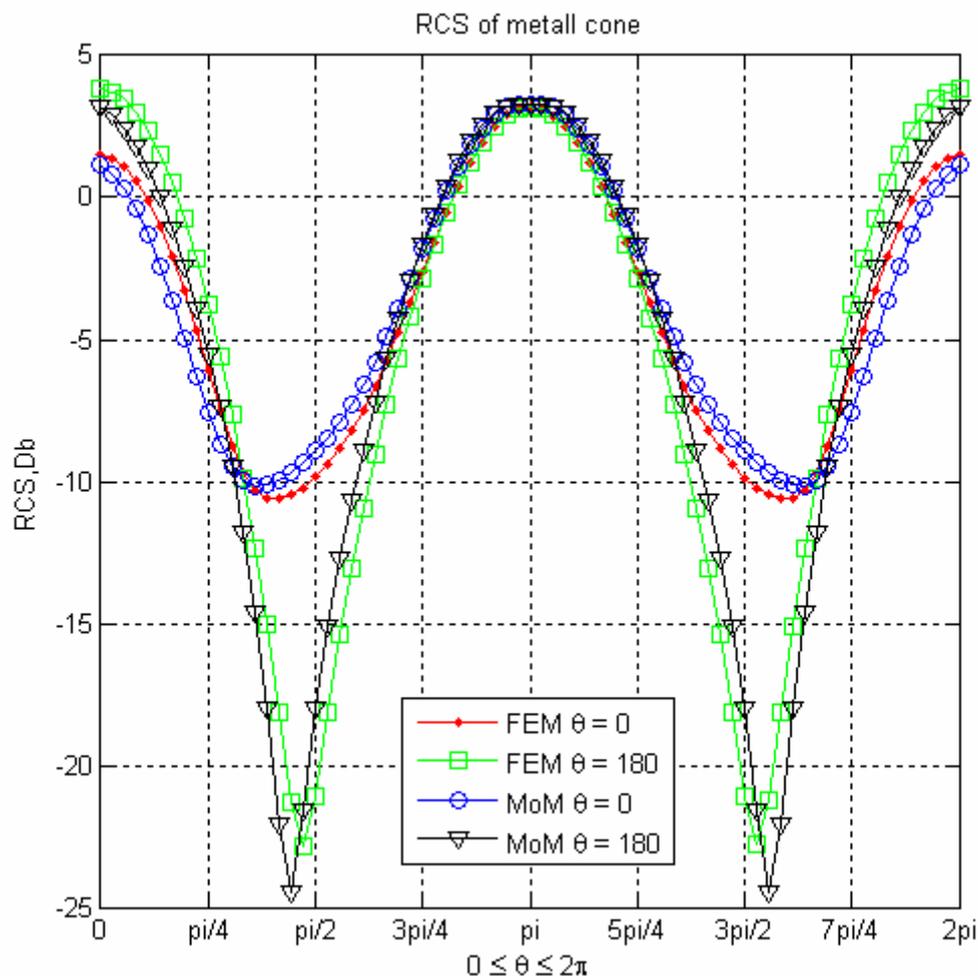


Рис. 4. ЭПР конуса в Дб

Численные эксперименты проводились также для более сложных тел, составленных из примитивов, рассмотренных ранее. На рисунке 5 показана схема одного — комбинации цилиндра и конуса. Проводились исследования для различной высоты цилиндра и длины падающей волны. Таким образом, исследовалось влияние формы рассеивателя на точность решения задачи.

При решении задачи рассеяния методом КЭ использовалось условие «идеально согласованного слоя» (*PML*, [4]), которое минимизирует отражение уходящей волны. Особое внимание уделялось рассеянию в сторону конуса, так как поглощающая способность слоя *PML* в дискретной задаче зависит от длины волны и угла ее падения на слой. При плотно прилегающих к поверхности тела слоях возникает эффект скользящей волны, которая частично отражаясь от согласованного слоя может привести к накоплению ошибки.

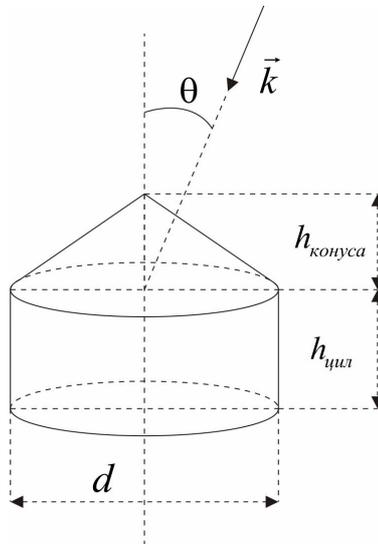


Рис. 5. Схема эксперимента для составной фигуры.
 $d=0.5$ м, $h_{\text{конуса}}=0.125$ м

На рисунке 6 показана зависимость разницы результатов расчётов методами конечных элементов и моментов от длины цилиндра.

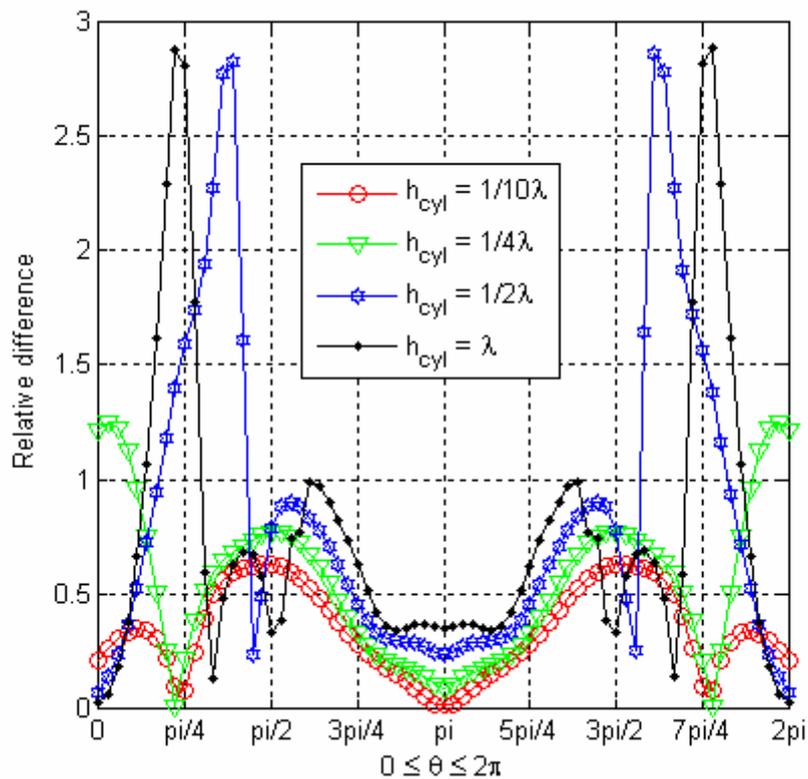


Рис. 6. Относительная разница ЭПР, посчитанных МКЭ и ММ

Таким образом, в численных экспериментах была показана сходимость методов МКЭ и МоМ к решению задачи определения ЭПР для шара, цилиндра и конуса. При рассеянии на цилиндре с коническим основанием наблюдалось расхождение в результатах, связанное с не идеальностью аппроксимации условий согласованных слоев.

Следует отметить, что МКЭ является более требовательным к вычислительным ресурсам в рассматриваемых задачах, выбор которых был обусловлен тем, что для их ре-

шения возможно использовать проверенный временем метод моментов. Исследование выявило необходимость аккуратного использования граничных условий согласованного слоя, что позволит избежать ошибок при применении этого метода для задач, в которых другие методы не будут иметь преимущества перед МКЭ в плане требований к ресурсам или будут вовсе не применимы.

Литература

1. R. F. Harrington, Field Computation by Moment Method. —IEEE Press, 1993
2. Дж. А. Стрэттон, Теория электромагнетизма. —М.:ОГИЗ, 1948
3. Volakis, J.L., Chatterjee, A. and Kempel L.C., Finite Element Method for Electromagnetics: Antennas // Microwave Circuits and Scattering Applications, IEEE Press (1998).
4. Berenger J. A perfectly matched layer for the absorption of electromagnetic waves // Journal of Computational Physics— 1994 — V.114 — P. 185-200