

Расчет эффективной площади рассеяния окруженных плазмой тел с помощью разделения полей в методе конечных разностей во временной области

Н.В. Анютин

НИЦ (г. Тверь) ЦНИИ ВВКО Минобороны России

Расчет эффективной поверхности рассеяния (ЭПР) летательных аппаратов (ЛА) существенно осложнен требованиями к дискретизации пространства. С одной стороны, во всех методах вычислительной электродинамики размер дискретных элементов объема или поверхности должен быть не больше определенной доли от длины волны. С другой стороны, для адекватной передачи поверхностей с малым радиусом кривизны или тонких частей корпуса также необходимо использовать малые дискретные элементы. В практических расчетах ЭПР ЛА активно используются методы физической оптики (МФО) [1] и обобщенных моментов (МОМ) [2], основанные на дискретизации поверхности, из-за значительно большей скорости вычислений. При гиперзвуковых скоростях в воздушном течении вокруг гиперзвукового ЛА (ГЗЛА) образуются свободные электроны, которые при достаточной концентрации оказывают существенное влияние на распространение радиоволн. Применение МФО и МОМ для расчета ЭПР ГЗЛА и сопутствующих гиперзвуковому полету докритических плазменных образований возможно только в тех случаях, когда слой плазмы можно считать тонким в сравнении с размерами частей корпуса и радиусами кривизны или рефракция радиоволн пренебрежимо мала. Применение строгих методов, основанных на численном решении уравнений Максвелла в дифференциальной форме, например методы конечных разностей, конечных разностей во временной области (МКРВО) и конечных объемов [2], в настоящее время требует использования суперкомпьютеров. Для практических расчетов ЭПР ГЗЛА и сопутствующих гиперзвуковому полету докритических плазменных образований необходим быстрый метод, основанный на дискретизации поверхности, который позволит учесть рефракцию радиоволн в плазме.

Цель работы – обоснование метода расчета ЭПР окруженных плазмой тел с помощью суммирования полученных в МКРВО полей, рассеянных на их отдельных частях. Для ее достижения решается задача расчета ЭПР окруженного плазмой идеально проводящего цилиндра. Двумерная постановка задачи упрощает решаемые уравнения и увеличивает скорость расчета, не изменяя общности предлагаемого метода. Бесконечный идеально проводящий цилиндр выбран по причине существования для него строгого аналитического решения задачи рассеяния электромагнитных волн.

Учет влияния рефракции радиоволн в слое докритической плазмы, а также их поглощения и изменения фазы в МФО или МОМ может быть выполнен с помощью введения поправок для поля, рассеянного на отдельном элементе поверхности. Величину поправок предлагается искать с применением строгих объемных методов вычислительной электродинамики как функцию от радиуса кривизны плазменного образования, зависимости его комплексной диэлектрической проницаемости от расстояния до элемента поверхности, положения элемента поверхности и угла падения электромагнитной волны. В ходе дальнейших исследований необходимо обобщение зависимостей поправки к рассеянному полю от множества параметров для повышения практической ценности предлагаемого метода.

Разделение полей, рассеянных на теле и окружающей его плазме, в рамках МКРВО может быть выполнено несколькими путями. В самом простом случае из поля, рассеянного на окруженном плазмой теле, вычитается поле, рассеянное на плазме без тела. Для уменьшения влияния волн, проходящих сквозь занимаемую телом область пространства, ее можно сделать в виде модели абсолютно черного тела, описав материалом Беренгера. Рассеянное на отдельном элементе поверхности поле возможно получить с помощью вычитания из поля, рассеянного на теле, поля, рассеянного на теле с рассматриваемым элементом поверхности из материала Беренгера.

Литература

- 1) Борзов А.Б., Соколов А.В., Сучков В.Б. Методы цифрового моделирования радиолокационных характеристик сложных объектов на фоне природных и антропогенных образований // Успехи современной радиоэлектроники. 2001. № 5. С. 55-66.
- 2) Гринев А.Ю. Численные методы решения прикладных задач электродинамики. М.: Радиотехника. 2012.