

Моделирование больших объектов в среде FEKO

Александр Курушин (Москва), Илья Мюхкеря (Санкт-Петербург),
Сергей Подковырин (г. Вышний Волочёк)

САПР стали важным инструментом каждого инженера-проектировщика СВЧ-техники и антенн. Работа современных инженеров практически невозможна без освоения автоматизированных средств проектирования, расчёта, анализа и моделирования СВЧ-устройств. Программные продукты совершенствуются так быстро, что требуют непрерывного изучения новых методов и подходов для решения современных задач. Таков и популярный комплекс FEKO фирмы Altair. В статье рассмотрены его новые возможности по решению задач электромагнитной совместимости антенных систем, расположенных на летательных аппаратах (ЛА).

Требования к вычислительным ресурсам рабочих станций САПР по мере увеличения размеров и сложности рассчитываемых антенн быстро растут и для некоторых задач, например на электрически больших объектах, могут легко опередить имеющиеся ресурсы. Комплекс FEKO предоставляет следующие возможности решения таких проблем:

- эффективное решающее устройство записывает матричные блоки на жёстком диске во время обработки, позволяя решать задачи на компьютерах с недостатком оперативной памяти;
- более высокая эффективность распараллеливания вычислений на многоядерных процессорах;
- многоуровневый быстрый мультипольный метод (MLFMM) значительно уменьшает вычислительные потребности в ресурсах, по сравнению с методом моментов (MoM);
- применение приближённых асимптотических методов, таких как ме-

тод физической оптики (PO) и метод однородной теории дифракции (UTD).

Анализ рассеяния электромагнитного поля на электрически больших объектах всегда был серьёзной проблемой. Для очень точных решений задач рассеяния в FEKO обычно используется метод электродинамического анализа MoM или MLFMM. Для электрически огромных структур требуется асимптотический метод физической оптики (PO). Для очень больших задач электродинамические методы упираются в вычислительные возможности ЭВМ, в то время как PO может потребовать очень плотной сетки разбиения для больших задач, и время расчёта методом PO с многократными рассеяниями растёт по экспоненте (см. рис. 1). Чтобы решить эти задачи, в FEKO был реализован метод «Ray Launching Geometrical Optics» (RL-GO), разрешающий использовать возбуждения плоской волны. Метод RL-GO основан на моделировании лучей, падающих и отражённых от

объектов, используя теорию распространения, отражения и преломления оптических лучей.

Воздействие лучей на металлические и диэлектрические структуры смоделированы при помощи источников Гюйгенса, помещённых в каждую точку ray-contact на материальных границах. Процессом ray-launching легко управлять, основываясь на угловом интервале (для локализованных источников) или поперечном интервале (для источников плоской волны) лучей и количестве многократных разрешённых интерференций.

RL-GO даёт хорошее совпадение с MLFMM при меньших требованиях к вычислительным ресурсам. Так, для решения задачи, показанной на рисунке 1, метод RL-GO потребовал 4,6 Мбайт памяти, тогда как MLFMM – 440 Мбайт при существенно большем времени выполнения. Это кардинальное снижение требований к вычислительным ресурсам – решающий фактор для очень больших задач.

Были показаны и преимущества метода RL-GO для большой структуры – решения задачи ЭПР на СВЧ (RCS). Другие подходящие приложения метода RL-GO включают анализ зеркальных антенн, а также линз. В таких случаях факт, что RL-GO был объединён с методом моментов (MoM), становится очень важным. Антенны излучения, освещающие линзу или зеркало, могут быть смоделированы методом MoM, в то время как с большой структурой может очень эффективно работать RL-GO, используя связь по дальнему или ближнему полю.

Одной из важных задач, стоящих перед проектировщиками радиоканалов ЛА, является обеспечение электромагнитной совместимости радиоканалов. Это обусловлено, во-первых, большим количеством разнообразных радиоэлектронных средств (РЭС), в том числе с перекрывающимися частотными диапазонами, а во-вторых, быстро меняющимся взаиморасположением ЛА в пространстве и в группировке.

Для обеспечения ЭМС функционирование РЭС в составе комплекса (включение, выключение и переключение режимов работы) должно регламентироваться по пространственному

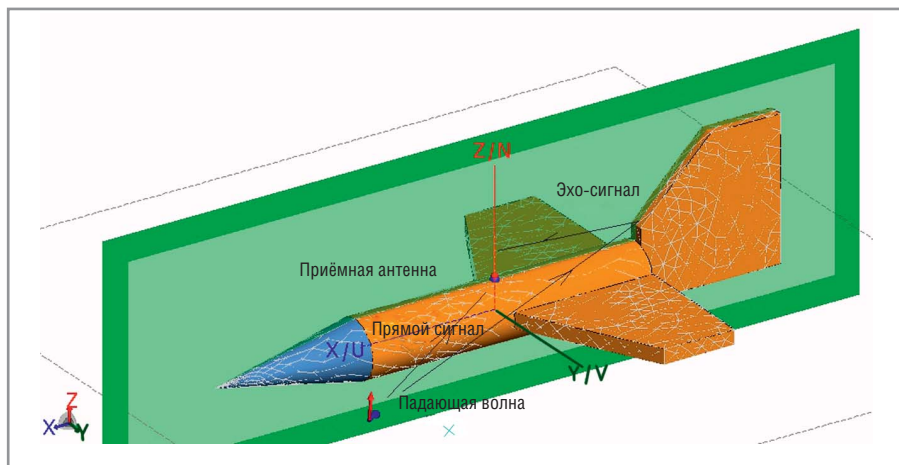


Рис. 1. Модель летательного аппарата

(диаграммы направленности антенн), частотному и временному разнесу. Это можно обеспечить путём создания системы управления параметрами электромагнитного излучения (частотным, мощностным и временным режимами, а также направлением излучения антенн) всех взаимодействующих РЭС [1].

Последняя задача требует определения внутрисистемной электромагнитной обстановки в режиме реального времени, включая вычисление коэффициентов электромагнитной связи попарно всех антенн комплекса РЭС (каждая с каждой). В то же время сложность геометрии ЛА, влияющая на характеристики излучения антенн, обуславливает необходимость применения электродинамических методов расчёта [2], требующих значительных вычислительных ресурсов.

На «домашнем» этапе в программной среде MATLAB формируется ограниченное дискретное множество сценариев взаимного расположения ЛА в пространстве. С помощью ЦЭВМ, обладающей необходимыми вычислительными ресурсами, решается серия соответствующих задач на электродинамическом

уровне. По результатам электродинамического расчёта коэффициентов электромагнитных связей попарно всех антенн комплекса РЭС для множества сценариев формируется база данных (БД). После необходимой компиляции БД помещается в бортовые вычислители всех ЛА для последующего использования данных в режиме реального времени.

В рамках рассматриваемой концепции на электродинамическом уровне можно выделить три класса задач:

1. Вычисление коэффициентов связи каждой пары антенн одного борта (для каждого ЛА группировки). В этот класс задач входят и задачи вычисления коэффициентов связи антенн одного борта при нахождении рядом других ЛА, чьи фюзеляжи влияют на анализируемые связи.
2. Вычисление параметров излучения в дальней зоне для всех антенн с учётом влияния собственного фюзеляжа и соседних (например, затеняющих) ЛА. Результаты вычисления диаграмм направленности всех антенн для различных сценариев взаимного расположения ЛА в пространстве образу-

ют массив данных умеренного объёма (в форме аппроксимирующих функций или их дискретного представления).

3. Ослабление от взаимных помех и помех от собственных токонесущих частей ЛА для увеличения отношения сигнал/шум при приёме и обработке сигналов связи, наведения и слежения.

В качестве антенн в моделях ЛА реализованы четвертьволновые вибраторы на металлическом корпусе ЛА. Проводные порты размещены у оснований вибраторов.

Пространственное расположение каждого ЛА (см. рис. 2) определяется координатами начала связанной системы координат (СК) каждого ЛА относительно земной СК и ориентации её осей, описываемой тремя углами Эйлера (углом курса, углом тангажа, углом крена), то есть мгновенное положение каждого ЛА определяется шестью обобщёнными координатами. Для описания сценариев взаимного расположения ЛА в пространстве используем понятие нечётких обобщённых координат (НОК) каждого ЛА группировки

Тратите время на обработку недостоверных результатов моделирования?

При использовании программы FEKO, вам становятся доступны:

- Непревзойденная точность сложных электромагнитных расчетов
- Высокая скорость вычислений
- Полный комплекс численных методов по оптимальной цене
- Поддержка всех форматов САПР – теперь бесплатно!



Реклама

FEKO
Comprehensive Electromagnetic Solutions

Дизайн-проекты, техническая поддержка и обучение
Тел.: +7 (499) 613-7001, www.rodnik.ru

РОДНИК
СИСТЕМНЫЙ ИНТЕГРАТОР

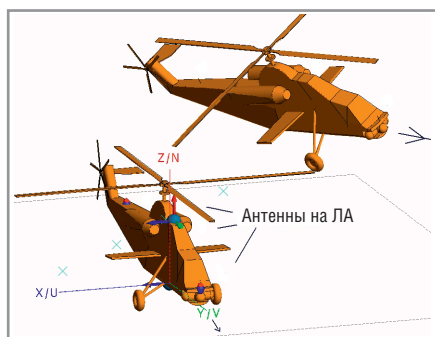


Рис. 2. Развёрнутые одна относительно другой модели ЛА по трём пространственным координатам в группировке

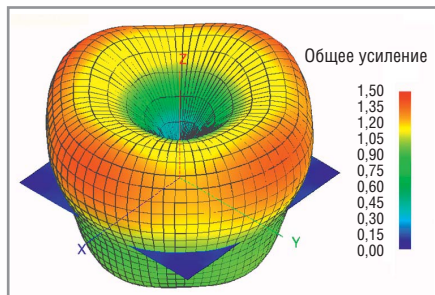


Рис. 3. ДН монопольной антенны на металлической плоскости конечного размера

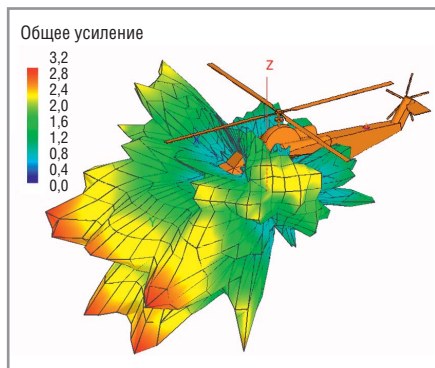


Рис. 4. Рассчитанная трёхмерная ДН антенны, находящейся на ЛА

(три декартовы координаты начала связанной СК и три угла Эйлера) [1].

Нечёткие обобщённые координаты – это нечёткое подмножество S универсального (базового) множества Q обобщённых координат $\vec{q} \in Q$ имеющее нормальную и выпуклую многомерную функцию принадлежности $\mu_c(\vec{q})$, то есть такую, что:

1) существует значение носителя, в котором функция принадлежности равна единице;

2) при отступлении от своего максимума в любом направлении функция принадлежности не возрастает.

Для рассматриваемой задачи в докладе «Определение электромагнитных связей антенн радиоэлектронных средств в группировке летательных аппаратов» [1] предложено использовать унимодальные НОК, когда функ-

ция принадлежности нечёткой координаты S имеет максимальное значение только в единственной точке (точнее, имеет бесконечно малую область толерантности).

На каждом носителе НОК, для описания какой-либо физической величины, определяем аппроксимирующую функцию $\phi_c(\vec{q})$. Каждая из этих функций может быть построена различными способами: либо при помощи различных аналитических функций, либо путём обучения искусственных нейронных сетей (можно получить наиболее точную аппроксимацию). Выбор способа построения аппроксимирующих функций определяется для каждой конкретной задачи по двум показателям качества: точность аппроксимации для конкретной задачи и минимизация вычислительных ресурсов. Для решения задачи в условиях случайного распределения положения ЛА и, как следствие, характеристик связи [3] и наведения:

- 1) формируем дискретное множество сценариев пространственного расположения ЛА группировки в связанной СК ЛА-передатчика, в которых ЛА-приёмник и другие ЛА, влияющие на распространение электромагнитного излучения, располагаются в модах НОК $\{C_n\}$; своё множество сценариев строится для каждой пары антенн;
- 2) для каждого сценария вычисляем коэффициент электромагнитной связи для рассматриваемой пары антенн по программе ФЕКО и рассчитываем коэффициенты связи для произвольных значений НОК, формируем систему аппроксимирующих (базисных) функций $\{\phi_{c_n}(\vec{q})\}$ и определяем саму аппроксимирующую функцию коэффициента электромагнитной связи антенн; при этом все упомянутые вычисления производятся в «домашнем» режиме;
- 3) полученный ограниченный объём информации (множество мод $\{c_n\}$, система аппроксимирующих базисных функций $\{\phi_{c_n}(\vec{q})\}$) для каждого сценария запоминается в бортовых вычислителях ЛА группировки;
- 4) в режиме реального времени для каждой пары антенн на борту ЛА вычисляются относительные обобщённые координаты \vec{q} и определяется соответствующий коэффициент связи.

Рассмотрим монопольную антенну, расположенную на металлической плоскости конечного размера в простран-

стве. У такой антенны излучение вдоль вертикальной оси отсутствует. Можно сказать, что это направление, вдоль которого имеет место подавление сигнала.

Изменение положения диаграммы направленности (ДН) вида, показанного на рисунке 3, позволяет отслеживать направление появления помехи и подавлять её, увеличивая этим соотношение сигнал/шум на входе приёмника. Однако при установке такой антенны на корпусе реального сложного ЛА диаграмма заметно меняется (см. рис. 4). Чтобы менять положение приёмной антенны на корпусе, можно эту ДН, рассчитанную как отдельную задачу, использовать далее как приёмную антенну Receiver Antenna и изменять положение только этого объекта для решения задачи связи и рассеяния поля.

Выполним расчёт ЛА длиной 20 м на частоте 200 МГц (см. рис. 4). Время расчёта методом MLFMM на компьютере с 16 Гбайт RAM и тактовой частотой 1 ГГц достигает 10 минут на частотную точку.

Кроме расчёта такой ДН этот метод позволит рассчитать связь между антеннами на корпусе ЛА в диапазоне заданных частот, а также оптимизировать положение антенн. Трёхмерная ДН (см. рис. 4), записанная в файл, может быть использована как для описания возбуждения такой антенны в виде точечного источника, так и в качестве приёмной антенны с такой же ДН. Таким образом, задача взаимодействия между ЛА с учётом НОК упрощается и сводится к анализу характеристик радиоканалов (см. рис. 5). Для того чтобы оценить полную принятую антенной мощность, а также рассеяние наведёнными металлическими объектами, в ФЕКО имеется специальная опция Include Only the Scattered part of the Field (только рассеянная часть поля), служащая для оценки полной и рассеянной части мощности, принятой отдельными антеннами, стоящими на ЛА сложной формы.

Выполним расчёт характеристик при облучении ЛА плоской волной, падающей под различными углами в диапазоне $\theta=0-90^\circ$. На рисунке 5 показаны принятые значения мощности на отдельных приёмных антеннах, развёрнутых в пространстве под углом 0, 10 и 30°. Трёхмерная ДН показана на рисунке 3.

Теперь поместим элемент рассчитанной ДН антенны на полную модель ЛА (см. рис. 6). Зависимость рассеянной части мощности от угла падения и является предметом расчёта. Рассчитав эти данные во всех направлениях

с заданным угловым шагом, мы получаем необходимую информацию для формирования банка данных, которые на процессорном уровне будут корректировать принятые с заданного направления сигналы.

В качестве ещё одного метода, реализованного в последних версиях FEKO, приведём метод расчёта во временной области. В этом случае падающий радиоимпульс электромагнитного поля, развёрнутый по временной оси, позволяет выделить временной процесс как падающего, так и отражённого импульса, появившегося на входе антенны из-за отражения от заднего хвостового оперения и от металлических токонесущих частей корпуса ЛА (см. рис. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные системы обработки информации базируются на расчётах больших потоков численных данных. В рассматриваемой задаче, когда связь между летательными аппаратами, которые постоянно меняют своё положение один относительно другого, имеет случайный характер, и поэтому радиоканалы становятся случайными во времени, важным этапом становится точный электродинамический расчёт ДН антенных систем в условиях нечётких систем координат. В данной работе на уровне качественного сравнения показано, как мощная САПР электродинамического моделирования FEKO позволяет улучшить связь между каналами и отстроиться от наводимых пространственных помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курушин А.А., Мюкжера И.В., Подковырин С.И. Определение электромагнитных связей антенн радиоэлектронных средств в группировке летательных аппаратов. Международная конференция «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий». REDS-2015 РНТОРЭС им. А.С. Попова. Доклады. Серия: Научные конференции, посвящённые Дню Радио (выпуск LXX). Москва. 2015. С. 262–265.
2. Банков С.Е., Грибанов А.Н., Курушин А.А. Электродинамическое моделирование антенных и СВЧ-структур с использованием FEKO. М. OneBook. 2013. С. 426.
3. Веденькин Д.А., Латышев В.Е., Седелников Ю.Е. Оценка коэффициентов связи антенн для задач обеспечения ЭМС бортового РЭО перспективных беспилотных авиационных комплексов. Журнал радиоэлектроники. 2014. №12.

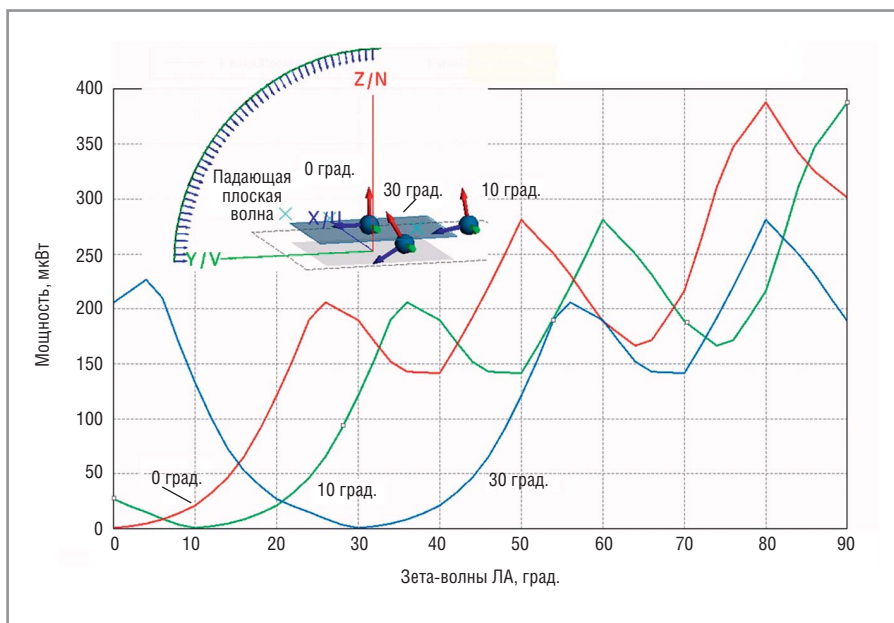


Рис. 5. Мощность, принятая антеннами при облучении модели антенны на ЛА плоской волной, падающей под различными углами в диапазоне 0...90°

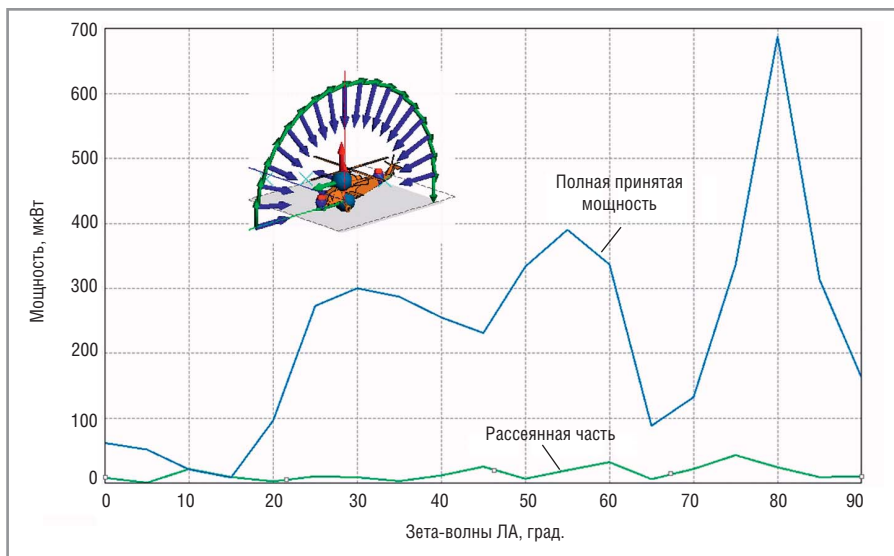


Рис. 6. Зависимость мощности на входе приёмной антенны, находящейся на корпусе ЛА, при изменении угла падения плоской волны

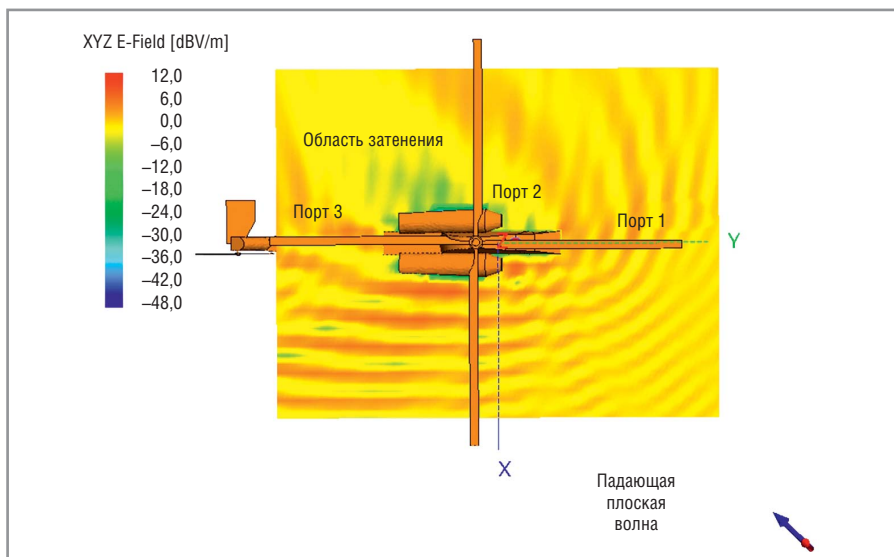


Рис. 7. Падение плоской волны на ЛА и моделирование распространения волн во временной области