

Tutunikov Dmitry Aleksandrovich – e-mail: tyutyunikov@mail.ru; engineer.

Astakhova Tatiana Valeryevna – Limited Liability Company «Research Institute of Physical Measurements»; e-mail: tani2104@mail.ru; 8/10, Volodarskogo street, Penza, 440026; phone: +78412591987; engineer.

УДК 629.7.028.6

Н.Н. Кисель, С.Г. Грищенко

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АНТЕННА–ОБТЕКАТЕЛЬ

*Выполнено моделирование характеристик антенны, укрытой обтекателем. Задача анализа системы антенна–обтекатель является достаточно сложной и многопараметрической. Антенные обтекатели имеют большие электрические размеры, что определяет выбор метода анализа таких структур. В статье рассмотрены вопросы моделирования системы обтекатель–антенна с использованием специализированного программного пакета **FEKO**. Методы, положенные в основу **FEKO**, позволяют эффективно решать задачи для структур больших электрических размеров. В приведенном примере размер зеркала составляет 7 длин волн, размер обтекателя – около 15 длин волн.*

Проведено исследование распределения напряженности электрического поля в ближней зоне для системы антенна–обтекатель при различных электрофизических параметрах материала обтекателя.

Обтекатель; антенна; электромагнитное моделирование.

N.N. Kisel', S.G. Grishchenko

NUMERICAL ELECTROMAGNETIC ANTENNA-RADOME SIMULATION

*This article demonstrates the simulation of an antenna enclosed by a radome. Radome scattering is a very complex theory and appropriate radome design for weather radar has to include many parameters. The design and numerical results are courtesy and permission. Radomes are generally electrically large structures. The choice of simulation method of such structures is extremely important. The antenna was simulated using the **FEKO**. It is a specialist tool for the 3D electromagnetic simulation of high frequency components. **FEKO Solver** which is, as a result of its efficient memory scaling, ideal for such electrically large structures – the dish diameter in this example is approximately 7 wavelengths in size and dish of radome is approximately 15 wavelengths in size. The numerical studies for near field total electric field on the antenna with radome are shown.*

Radome; antenna; electromagnetic design.

Разработки бортовых и наземных антенн, укрытых обтекателем, в настоящее время невозможны без использования современных технологий проектирования, учитывающих разнообразную топологию структуры, включая возможности синтеза и оптимизации формы обтекателя и взаимного расположения обтекателя и антенной системы.

Основная задача при проектировании обтекателя – это обеспечение высокой радиопрозрачности, сохранение формы и ориентации диаграммы направленности антенны при всех углах сканирования антенны. Например, самолетные антенные обтекатели должны обеспечить высокую прозрачность для радиоизлучения в угловом диапазоне $\pm 85^\circ$ от носового направления на обтекатель, одновременно являясь частью силового корпуса фюзеляжа. Даже качественно выполненные обтекатели уменьшают дальность действия антенных систем, поскольку коэффициент радиопрозрачности лежит в пределах 0,7...0,85, угловые ошибки определения направления на цель достигают десятков угловых минут.

При проектировании обтекателей необходим учет элементов силовых конструкций на обтекателе и аэродинамических требований к форме обтекателя [1, 2]. Необходимость совпадения поверхности обтекателя с обводами самолета, наличие силовых элементов на поверхности обтекателя приводят к искажению диаграммы направленности и к существенным трудностям при проектировании обтекателя [3]. Обтекатель находится в ближней зоне по отношению к размерам антенны, при этом наибольшие изменения диаграммы направленности проявляются в области боковых лепестков, что связано с влиянием обтекателя на распределение поля в апертуре антенны.

В [3–10] рассмотрены различные подходы к моделированию частных случаев антенн, укрытых обтекателем. В качестве метода решения используют конечно-разностный метод [2], метод физической оптики [4], метод моментов [5]. Особое внимание уделяется расхождению диаграмм направленности антенны с обтекателем в носовой части обтекателя. В работах [6, 7] проанализировано влияние обтекателя на основе трехмерной математической модели, позволяющей сравнить характеристики антенны в свободном пространстве с характеристиками системы антенна–обтекатель. Применяемые для анализа характеристик модели алгоритмы базируются на методах геометрической оптики без учета многократных отражений от стенки обтекателя. Данный подход может быть адаптирован для любого типа антенны, при любом способе сканирования лучом, для любой поверхности обтекателя, образующая (обвод) которого задана аналитически, любой конструкции стенки, выполненной из изотропных (силовые слои) и анизотропных (сотовый наполнитель) материалов.

Дополнительным источником ошибок существующих методов анализа является аппроксимация фронта падающей на внутреннюю стенку обтекателя волны плоскостью. В реальных условиях фронт падающей волны отличается от плоского, поскольку обтекатель находится в ближней зоне излучающих антенн.

В статье [8] представлен разработанный квазиоптический алгоритм, усовершенствующий лучевые методы анализа обтекателей посредством учета кривизны границ раздела многослойных обтекателей, кривизны фронта излучаемой волны, потерь в материале обтекателя, многократно переотраженных в многослойных обтекателях волн. Рассмотрена наиболее интересная для практических приложений форма обтекателя – поверхность вращения с произвольной регулярной формой образующей. Учет кривизны границ раздела многослойного обтекателя позволил с высокой точностью использовать разработанный алгоритм для анализа многослойных тел вращения, поверхности которых наряду с мало искривленными поверхностями имеют участки с радиусами кривизны, сравнимыми с длиной волны падающего на обтекатель поля [9].

При численном моделировании электродинамических характеристик антенн в присутствии диэлектрической оболочки одной из важнейших задач является адекватное моделирование системы. В резонансной области наибольшее распространение получили методы, использующие строгую постановку задачи (например, метод интегральных уравнений [10]). При больших линейных электрических размерах обтекателя обычно применяют метод геометрической оптики, и для систем с электрическими параметрами $10 \dots 100$ длин волн используют модели, основанные на методах физической оптики [6].

Применение каждого из этих методов имеет определенные ограничения, когда их использование или нецелесообразно (например, большие размеры обтекателя для строгих подходов), или приводит к существенным погрешностям расчета поля в определенных угловых направлениях (например, в области носовой части обтекателя для методов физической и геометрической оптики). Наиболее интересным представляется комбинация методов геометрической оптики, физической оптики и метода интегральных уравнений при анализе влияния обтекателей на характеристики антенн, что позволяет выполнить более адекватный анализ характеристик больших обтекателей во всем угловом диапазоне.

Таким образом, различные подходы к анализу характеристик системы обтекатель–антенна имеют ряд существенных ограничений и, кроме того, в их рамках можно реализовать частные случаи геометрии как обтекателя, так и типа антенны.

В статье рассмотрено моделирование системы обтекатель–антенна с использованием программного пакета **FEKO**, в основу которого положены точные методы моделирования на основе интегральных уравнений и приближенные методы геометрической и физической оптики с возможностью их комбинирования.

Система антенна–обтекатель представляет собой зеркальную антенну, окруженную диэлектрическим обтекателем. Стенки обтекателя характеризуются толщиной d и диэлектрической проницаемостью ε . Модель задачи в трехмерном представлении формируется с помощью набора и объединения простейших геометрических фигур. Этапы моделирования системы антенна–обтекатель в **FEKO** приведены на рис. 1.

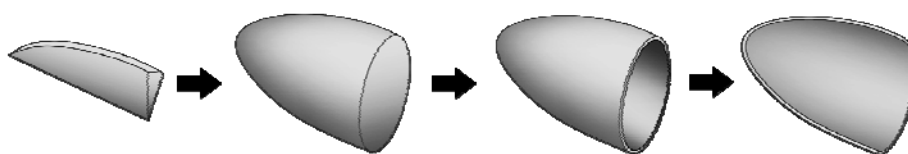


Рис. 1. Этапы моделирования антенного обтекателя в **FEKO**

Как показало численное моделирование, обтекатель оказывает существенное влияние на диаграмму направленности антенны.

На рис. 2 приведено распределение напряженности электрического поля в ближней зоне для системы антенна–обтекатель при различных электрофизических параметрах материала обтекателя. Расчеты выполнялись на частоте 9,375 ГГц, электрическая толщина обтекателя $kd = 4$.

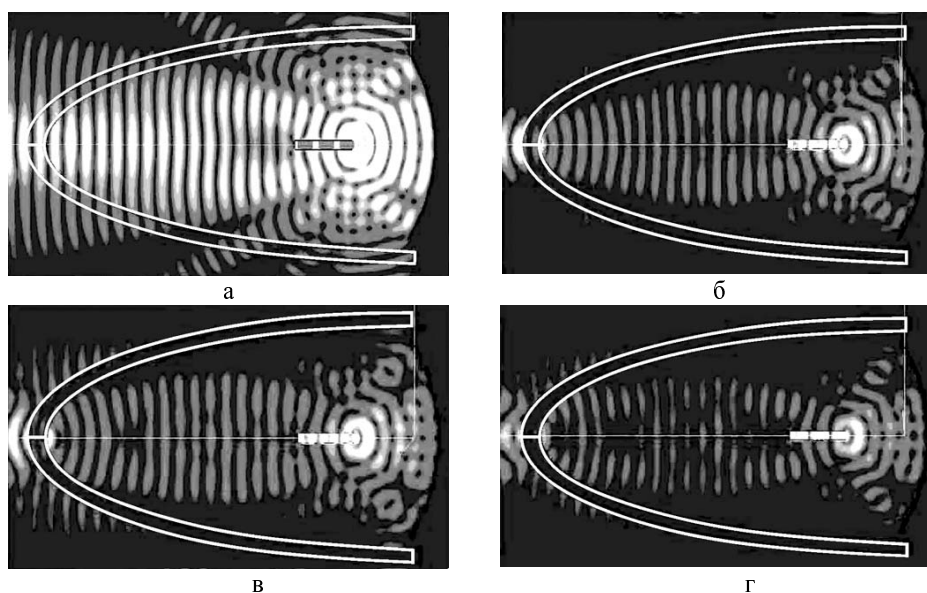


Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля в ближней зоне для системы антенна–обтекатель в E -плоскости при различных значениях диэлектрической проницаемости: а – $\varepsilon = 1$; б – $\varepsilon = 2$, в – $\varepsilon = 4$; г – $\varepsilon = 6$

Как видно из рис. 2, при увеличении диэлектрической проницаемости фазовый фронт волны все более искривляется, что ведет к увеличению боковых лепестков в угловом секторе $\theta = \pm(10...90^\circ)$ по отношению к нормали на носовое направление и искажению диаграммы направленности. Аналогичные распределения были получены методом интегральных уравнений для двумерной задачи антенна–обтекатель [10].

В работе было также исследовано влияние линейных фазовых искажений на диаграмму направленности системы антенна–обтекатель. Если фазовый центр облучателя сместить в направлении, перпендикулярном оси зеркала, то это приведет к повороту диаграммы направленности в сторону, противоположную смещению облучателя. Угол поворота диаграммы направленности будет определяться смещением облучателя и фокусным расстоянием. В данном случае угол поворота диаграммы направленности составляет $6,3^\circ$. Смещение облучателя из фокуса широко используется для управления диаграммой направленности антенны.

На рис. 3 изображены распределения поля в ближней зоне системы антенна–обтекатель с различной диэлектрической проницаемостью и линейными фазовыми искажениями.

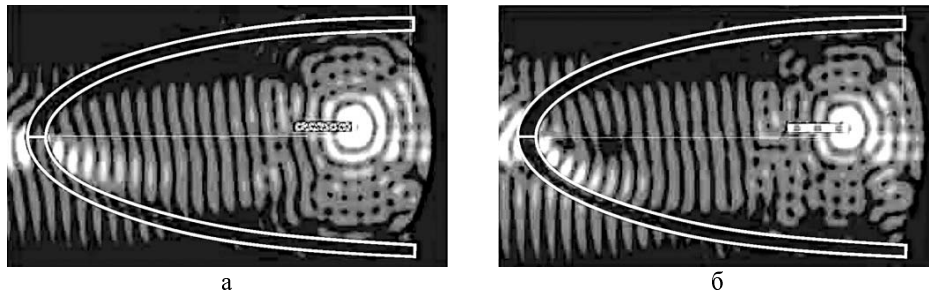


Рис. 3. Распределение напряженности электрического поля в ближней зоне для системы антенна–обтекатель в E -плоскости при различных значениях диэлектрической проницаемости и линейных фазовых искажений:
а – $\epsilon = 2$; б – $\epsilon = 6$

Численное моделирование наглядно проиллюстрировало, что при смещении облучателя из фокуса фазовое распределение поверхности раскрыва нелинейно даже при отсутствии обтекателя, фаза меняется не только по линейному закону, но и по кубическому, что приводит к искажению диаграммы направленности. Во избежание значительных искажений из-за кубической фазовой ошибки угол поворота диаграммы направленности не должен превышать удвоенной ширины главного лепестка по половинной мощности. Наличие обтекателя усиливает нелинейность фазового распределения на поверхности раскрыва зеркала.

Таким образом, в работе показана возможность использования пакета **FEKO** для исследования влияния обтекателя на характеристики антенны. В результате выполнения работы решена задача моделирования системы антенна–обтекатель на основе строгого электродинамического подхода. Универсальность предложенного подхода позволила подойти с единых позиций к построению электродинамических моделей сложных структур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каплун В.А. Антенные радиопрозрачные обтекатели (этапы исследований и разработок) // Радиотехника. – 2002. – № 11. – С. 6-15.
2. Бойко М.А., Титов А.Н., Ястребов В.П. Обтекатели РЛС самолетов нового поколения // Радиотехника. – 2002. – № 11. – С. 39-40.

3. *Gordon Richard K., Mitra R.* Finite Element Analysis of Axisymmetric Radomes // IEEE Trans. Antenna Propagat. – July 1993. – Vol. AP-41, №7. – P. 975-981.
4. *Sembiam R. Rengarajan, Edmond S. Gillespie.* Asymptotic Approximations in Radome Analysis // IEEE Trans. Antenna Propagat. – 1998. – Vol. AP-36, № 3. – P. 635-644.
5. *Ercument Arvas, Saira Ponnappalli* Scattering Cross Section of a small Radome of Arbitrary Shape // IEEE Trans. Antenna Propagat. – 1989. – Vol. AP-37, № 5. – P.655-658.
6. *Князева Л.В.* Методы расчета характеристик системы антенна-обтекатель // Антенны. – 1998. – Вып. 1. (40). – С. 66-75.
7. *Крылов В.П., Подольхов И.В., Ромашин В.Г., Шадрин А.П.* Метод математического профилирования антенных обтекателей // Радиотехника. – 2002. – № 11. – С. 20-24.
8. *Грищенко С.Г.* Алгоритм квазиоптического моделирования антенных обтекателей // Антенны. – 2007. – № 5. – С. 40-47.
9. *Грищенко С.Г.* Исследование характеристик тел вращения произвольной формы в квазиоптической области // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1993. – Т. 36, № 2. – С. 69-72.
10. *Кисель Н.Н.* Исследование влияния обтекателя на характеристики бортовых антенн // Рассеяние электромагнитных волн: Межвед. сб.науч.-техн.статей. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2006. Вып. 14. – С. 8 7-96.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.В Тютиков.

Кисель Наталья Николаевна – Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге; e-mail: dekanat-rtf@tti.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44, ГСП-17А; тел.: 88634371634; кафедра антенн и радиопередающих устройств; профессор; к.т.н.; доцент.

Грищенко Сергей Григорьевич – радиотехнический факультет; декан; к.т.н.; доцент.

Kisel' Natalia Nikolayevna – Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education «Southern Federal University»; e-mail: dekanat-rtf@tti.sfedu.ru; GSP-17A, 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371634; the department of antennas and radio transmitters; professor; cand. of eng. sc.; associate professor.

Grishchenko Sergey Grigorievich – the college of radio engineering; dean; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 681.3.01

С.И. Клевцов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА СКАЧКООБРАЗНОГО ИЗМЕНЕНИЯ БЫСТРОПЕРЕМЕННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММ ПУАНКАРЕ

Разработан обобщенный алгоритм определения и прогнозирования скачкообразного изменения быстропеременной физической величины, определяющей состояние объекта. Алгоритм построен на основе обработки диаграмм Пуанкаре, формируемых в реальном времени локальным массивом точек временного ряда значений физической величины. Массив вырезается заданным фиксированным временным окном в процессе его перемещения по временному ряду значений физической величины, снимаемых датчиком системы мониторинга. Алгоритм обеспечивает в реальном времени реализацию процедуры выявления возможности возникновения нештатной ситуации на ранней стадии ее развития с помощью микропроцессорного модуля, расположенного на нижнем уровне системы мониторинга технического объекта. Алгоритм характеризуется простотой реализации, низкой ресурсоемкостью, может быть использован для обработки сигналов с высоким уровнем шумов.

Скачкообразное изменение сигнала; алгоритм; микропроцессорный модуль; реальное время.