

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ САПР СВЧ для РАСЧЕТА ЗЕРКАЛЬНЫХ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АНТЕНН

А.А. Курушин (НИУ «МЭИ»), Е.И. Лаврецкий (МКБ «Компас»), С.Е. Чадов (НИУ «МЭИ»)

Показана актуальность анализа, расчета и проектирования характеристик излучения зеркальных антенн большого размера. Приведены примеры расчета осесимметричной и офсетной зеркальных антенн, выполненные в ПО *Mirrot* и САПР *FEKO*.

Ключевые слова: зеркальные антенны большого размера, метод физической оптики, проектирование.

Широко распространенные в настоящее время в спутниковой связи зеркальные антенны имеют размеры от десятков сантиметров до сотен метров [1]. Это означает, что размеры антенн могут составлять сотни длин волн и более. Расчет таких больших структур строгими электродинамическими методами требует больших вычислительных затрат. В связи с этим для анализа и расчета характеристик излучения зеркальных антенн большого размера используют приближенные методы, к которым относятся методы геометрической оптики и геометрической теории дифракции, а также методы физической оптики и физической теории дифракции [2–4].

В настоящее время наибольшую популярность приобрел метод физической оптики, характеризующийся высокой эффективностью и точностью, позволяющий выполнить аппроксимацию поверхностного электрического тока для идеально проводящих рассеивателей (рефлекторов). В методе физической оптики отсутствует необходимость решать систему линейных алгебраических уравнений большого порядка, к чему сводится большинство электродинамических методов решения системы уравнений Максвелла.

Применение метода физической теории дифракции [3,4] позволяет учесть еще более тонкие эффекты дифракции первичного поля облучателя на кромке зеркала по сравнению с методом физической оптики. Как правило, это позволяет уточнить уровни дальних боковых лепестков поля излучения антенны. Однако численная реализация метода физической теории дифракции более сложна и не универсальна, а его применение с практической точки зрения не является необходимым для анализа больших антенн.

Заметим, что метод геометрической оптики имеет меньшую точность при анализе зеркальных антенн, чем метод физической

оптики, так как в нем не учитываются поляризационные эффекты (в частности, при анализе зеркальных антенн апертурным методом). Метод геометрической теории дифракции по точности примерно эквивалентен методу физической оптики.

Анализ и проектирование зеркальных антенн выполняется обычно на уникальных, приспособленных для решения конкретных задач, программных системах. Коммерчески распространяемой специализированной программой для расчета зеркальных антенн является ПО *GRASP*, разработанное компанией *TICRA* (ticra.com). Эта система представляет собой промышленный стандарт для точного моделирования зеркальных антенн.

Другой программой данной области является ПО *Mirrot*, разработанное в ОКБ Московского энергетического

института. Специфика программы - решение задачи облучения рефлектора системой излучателей. В связи с высокой скоростью обработки данных пользователи программы могут просчитать большое число вариантов уже на этапе эскизного проектирования.

Универсальная САПР СВЧ *FEKO* (feko.com) также предоставляет возможность создавать, проектировать



Рис. 1. Зеркальная параболическая антенна, облучаемая рупором, с рассчитанными на них токами, текущими на поверхности

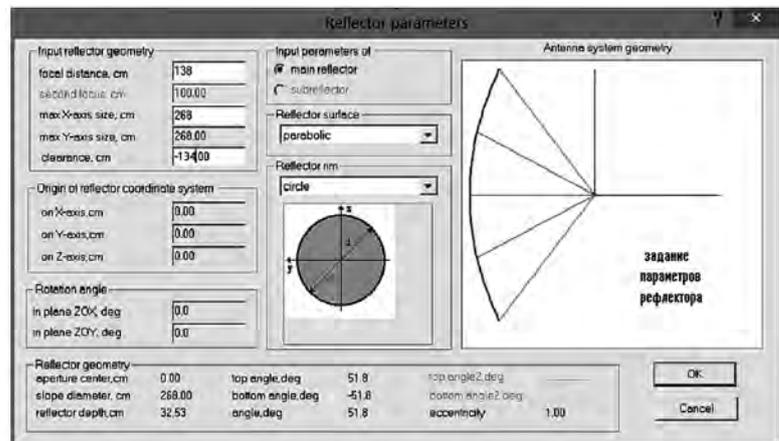


Рис. 2. Диалог программы *Mirrot* для выбора геометрии рефлектора (выводится по команде *Reflector*)

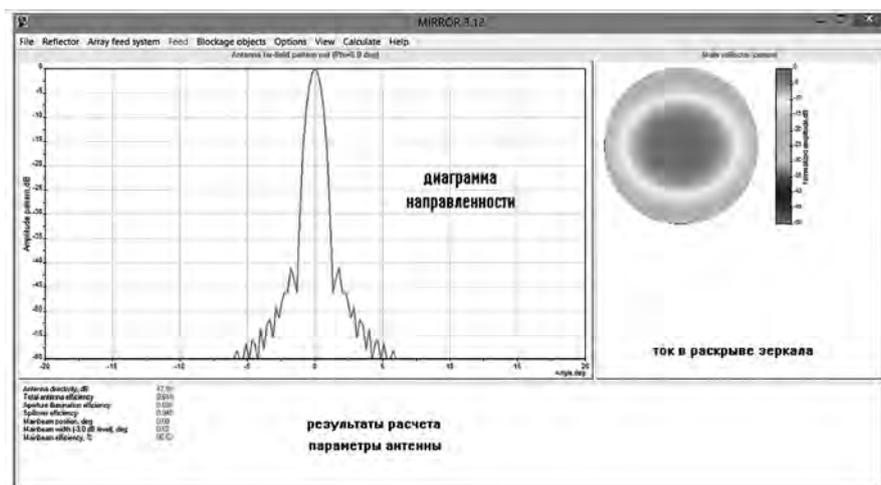


Рис. 3. Сечение ДН (слева) и ток в раскрыве апертуры зеркальной антенны (справа), рассчитанные в ПО Mirror

и оптимизировать самые разнообразные излучающие структуры. Однако время расчетов на таких универсальных системах бывает значительным.

В программах GRASP, Mirror и FEKO для расчета зеркальных антенн используется метод физической оптики.

Расчет осесимметричной зеркальной антенны с помощью программы Mirror

Программа Mirror предназначена для расчета характеристик излучения рефлекторных антенн с одиночным или многоэлементным облучателем (рис. 1). Работа с программой Mirror начинается с выбора параметров задачи (рис. 2).

В ПО Mirror предусмотрено создание до 32-х произвольно расположенных и ориентированных в пространстве объектов класса Feed (питающие антенны). Каждый из объектов этого класса, как и элемент фазированной антенной решетки (ФАР), может быть выбран пользователем следующим образом:

- табулированной диаграммой направленности (ДН), например, полученной экспериментальным путем;
- ДН, аппроксимированной аналитической функцией;
- простой моделью пирамидального рупора;
- электродинамической моделью гладкого конического рупора и конического рупора с изломом;
- электродинамической моделью многосекционного круглого и прямоугольного волноводов, которая позволяет получить любую геометрию рупорного облучателя, включая рупор с канавками.

Функции этого класса рассчитывают электрический ток, наводимый объектом на поверхности рефлекторов, поле излучения объекта в ближней или дальней зоне (для электродинамических моделей) и выводят результаты на экран (рис. 3).

Результаты расчетов, выполненных с помощью программы Mirror, можно сохранить в файле с расширением *.dat. Впоследствии этот файл может использоваться для расчета в других программах.

Расчет офсетной зеркальной антенны с помощью программы Mirror

Зеркальная антенна с осесимметричным расположением облучателя имеет тот недостаток, что облучатель и штанги затеняют лучи прямого прохождения и таким образом ухудшают коэффициент направленного действия (КНД). Поэтому на практике часто применяется офсетная зеркальная система, облучаемая открытым концом круглого волновода.

В программе Mirror воздействие осуществляется по дальнему полю. Вначале считается излучающий элемент, считается его дальнее поле на каждом элементе сетки зеркальной антенны. В результате расчета можно вывести ДН зеркальной антенны, а также ее кроссполяризационную составляющую [5, 6] — в окне сечения диаграммы направленности Pattern cut (рис. 4).

Расчет в ПО FEKO осесимметричной зеркальной антенны, облучаемой круглым волноводом

Программа FEKO также позволяет рассчитать зеркальную антенну большого размера методом физической оптики. В соответствии с этим мето-

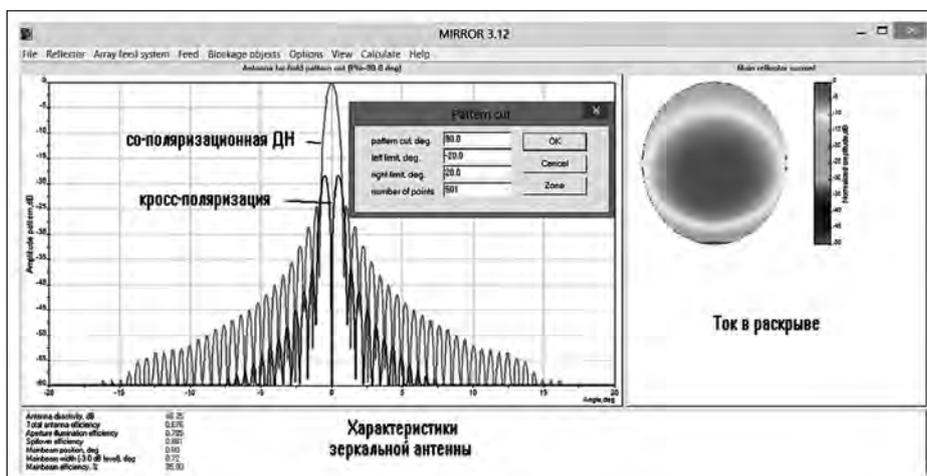


Рис. 4. Результаты расчета ДН на программе Mirror офсетной зеркальной антенны

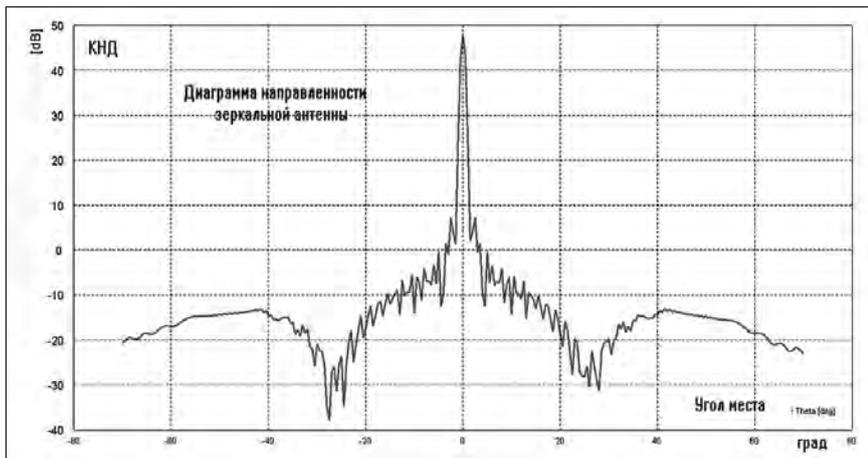


Рис. 5. Рассчитанная на FEKO диаграмма направленности осесимметричной зеркальной антенны

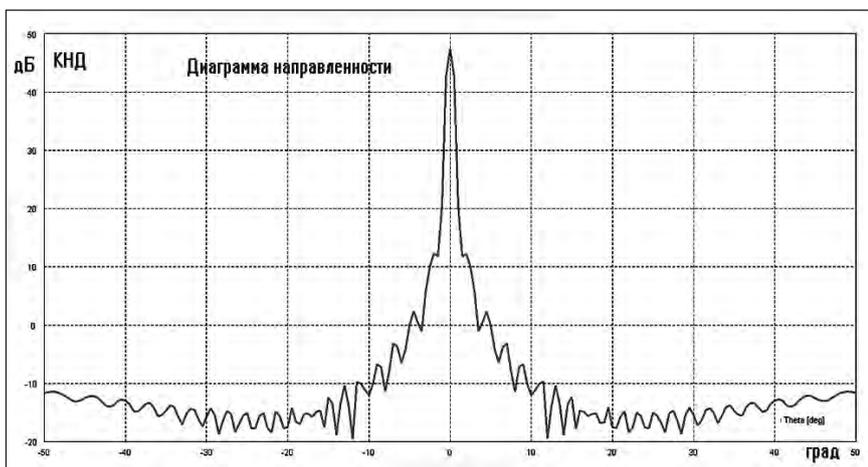


Рис. 6. ДН офсетной зеркальной антенны, рассчитанная на FEKO

дом значения токов определяется в центре каждого элемента декомпозиции зеркальной антенны (треугольник), в центре которого FEKO считает нормаль. Конечный размер треугольника, а также замена плавной поверхности параболоида на срезанные плоскости, являются источником погрешности численного расчета методом физической оптики. Декомпозиция зеркала увеличивает время расчетов в системе.

На рис. 5 представлен пример диаграммы направленности осесимметричной зеркальной антенны.

Расчет на FEKO офсетной зеркальной антенны

При расчете офсетной зеркальной антенны исходная задача разбивается на две: расчет облучателя,

а затем использование этих данных для построения падающего на зеркало поля в сечении круглого волновода, выполняющего роль облучателя. На рис. 6 представлен пример результата расчета ДН в ПО FEKO.

Выводы

В статье [7] были представлены конкретные расчеты осесимметричной, а также офсетной зеркальных антенн, выполненные в программах Mirror и FEKO. Полученные результаты совпадают между собой, а также с данными, предоставляемыми изготовителем антенн. Таким образом, представленные программные пакеты демонстрируют не только инновационную функциональность, но и подтверждают эффективность при решении конкретных задач.

Отметим, что скорость расчета на программе Mirror (при условии расчета на одном компьютере) оказалась в 5 раз выше. Однако программа FEKO является более гибким инструментом решения подобных задач, причем она позволяет считать структуры с диэлектриками и с потерями в металлических и диэлектрических средах.

Список литературы

1. *Baars J.* The paraboloidal reflector antenna in radio astronomy and communication. Springer. 2007.
2. *Хенл Х., Мауэ А., Вестнфаль К.* Теория дифракции. Москва. 1964. 428 с.
3. *Уфимцев П.Я.* Метод краевых волн в физической теории дифракции. Москва. 1962. 244 с.
4. *Shore R.A., Yaghjian A.D.* Incremental diffraction coefficients for planar surfaces // IEEE Trans., AP, 1988. Vol.36. No.1. pp.55-70.
5. *Parkinson J.R., Mehler M.* Convergence of PO integrals by Ludwig technique // Electronics Lett. vol. 22. N22. 1986. pp.1161-1162.
6. *Ludwig A.C.* The definition of cross polarization. IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-21, Jan. 1973, pp.116-119.
7. *Курушин А., Лаврецкий Е., Чадов С.* Расчет зеркальных параболических антенн с помощью современных САПР СВЧ // Современная электроника. 2014. №3.

Лаврецкий Евгений Изидорович — инженер-конструктор МКБ "Компас",

Курушин Александр Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры АУиРРВ,

Чадов Сергей Евгеньевич — канд. техн. наук, доцент кафедры АУиРРВ Национального исследовательского университета «МЭИ».

Контактные телефоны компании Родник: +7 (499) 613-26-88, 613-70-01.

Http://www.rodnik.ru

E-mail: info@rodnik.ru