

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ПРОВОДНАЯ СЕТКА ДЛЯ РАЗВЕРТЫВАЕМОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.Т. Нгуен, аспирант каф. ТУ;

А. Алхадж Хасан, м.н.с. НИЛ «БЭМС РЭС»

*Научный руководитель Т.Р. Газизов, д.т.н., доцент каф. ТУ
г. Томск, ТУСУР, nguyен.t.2213-2022@e.tusur.ru*

Получена эквивалентная проводная сетка, использованная для моделирования развертываемой космической зеркальной антенны с разреженной поверхностью. Результаты моделирования антенны проводной сеткой сравнивались с полученными другим методом и показали хорошую согласованность. Это демонстрирует возможность использования проводной сетки при моделировании таких типов антенн для получения оценок их характеристик с приемлемой точностью.

Ключевые слова: метод моментов, космическая зеркальная антенна, проводная сетка, разреженные антенны.

Масса и объем размещения зеркальных антенн с развертываемым рефлектором с высокой направленностью излучения весьма важны в космических приложениях. Поэтому при проектировании таких антенн используются лёгкие и прочные композитные материалы, которые повышают надежность конструкции и обеспечивают долговременную работу антенн в агрессивных средах [1, 2]. Они облегчают конструкцию рефлектора в целом и уменьшают уязвимость отражающего слоя к повреждению космическим мусором [3]. Между тем их моделирование электродинамическим анализом может быть очень затратным.

Метод моментов (МоМ) часто используется для решения таких задач, поскольку дает приемлемые результаты, несмотря на простой алгоритм [4]. Более того, аппроксимация поверхности проводящих структур проводной сеткой на основе МоМ используется для получения быстрых оценок с минимальными вычислительными затратами [5]. Однако такая аппроксимация не была использована ранее при моделировании сложных конструкций антенн из композитных материалов. С учетом этого цель данной работы заключается в создании эквивалентной проводной структуры развертываемой космической зеркальной антенны с разреженной поверхностью.

Для достижения цели работы выбрана развертываемая космическая зеркальная антенна из [6], состоящая из двух несимметричных парабол, формирующих конструкцию антенны и разреженную сетку.

Диаметр параболической конструкции составляет $D = 0,83$ м, а фокусные расстояния парабол $F_1 = 0,415$ м и $F_2 = 1,0375$ м. Кабельная конструкция антенны и сетка рефлектора заменены на сетки из проводов. Сетчатая структура параболы построилась из проводов с радиусом $R_s = 5$ мм, соединенных между собой и образующих треугольники с размером сторон $l_s = 0,11$ м (рис. 1, а). Радиус проводов, формирующих разреженную сетку рефлектора, $R_m = 3$ мм. Они соединены между собой и образуют треугольники с размером сторон $l_x = 14,5$ мм, $l_y = 11,5$ мм. Расстояние между сеткой рефлектора и конструкцией антенны в эквивалентной структуре составило $2R_s$.

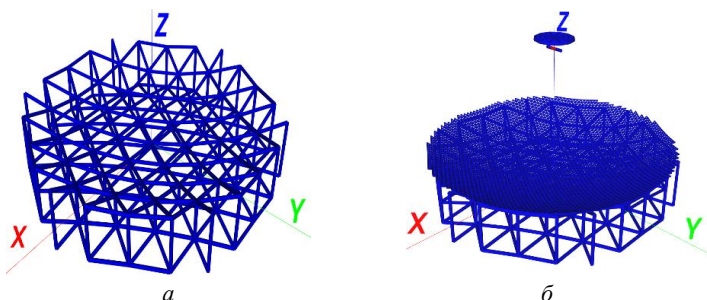


Рис. 1. Проводные сетки конструкции антенны без рефлектора (а) и с ним (б)

Для возбуждения антенны использовался диполь длиной $l_d = \lambda/2$ с разностью потенциалов в зазоре 1 В, расположенный на расстоянии $\lambda/4$ ниже зеркального диска диаметром λ . Полученная эквивалентная проводная сетка, состоящая из 9902 проводов, представлена на рис. 1, б. Её диаграммы направленности (ДН) на частоте 2,5 ГГц сравнивались с полученными в [6] на рис. 2.

Нормированные значения напряженности поля рассчитывались в плоскостях E и H . Полученные характеристики антенны на частоте 2,5 ГГц сравнивались с аналогичными из [6] для трёх разных типов сетки отражающих рефлекторов ($T_{1,2,3}$) и даны в таблице.

Рассмотренные характеристики включают коэффициенты усиления (КУ) и защитного действия (КЗД), а также уровни боковых лепестков (УБЛ) в плоскостях E и H и ширину главного лепестка (ШГЛ). По результатам моделирования можно отметить, что УБЛ с проводной сеткой в E плоскости выше, чем в [6], и отличается максимум на 6 дБ, а в H плоскости – на 3 дБ. КЗД с проводной сеткой превышает КЗД из [6] максимум на 9 дБ, а КУ – на 6,2 дБ. ШГЛ антенны одинакова для всех типов.

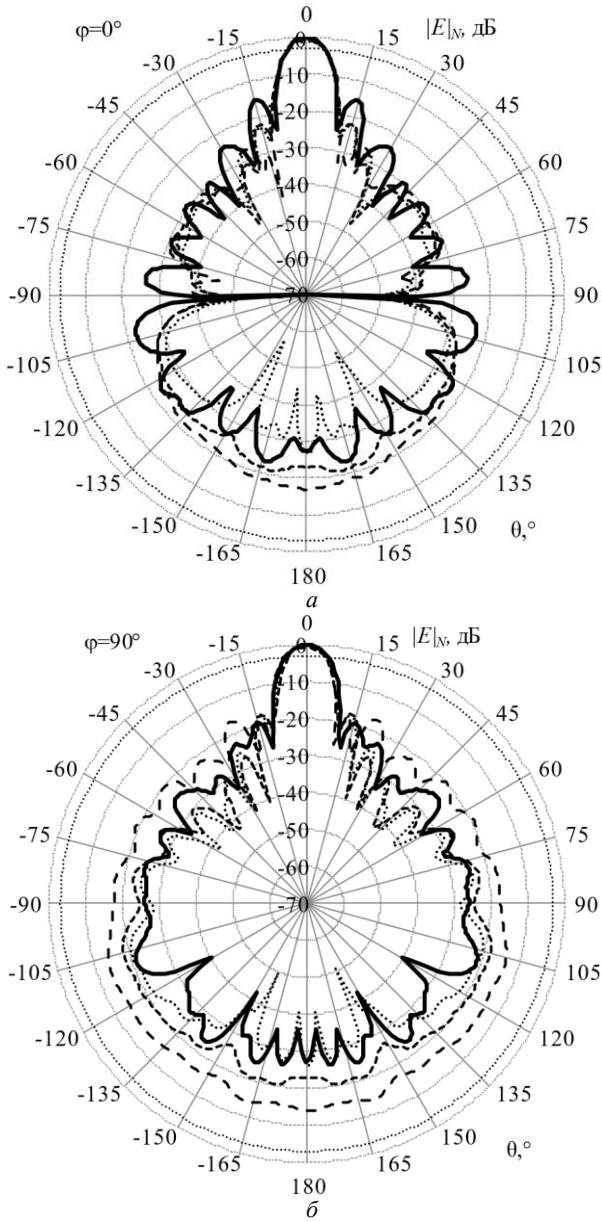


Рис. 2. ДН космической зеркальной антенны для проводной сетки (—) и для T_1 (····), T_2 (---), T_3 (-·-) [6] в плоскостях E (а) и H (б)

Сравнительный анализ характеристик антенны на частоте 2,5 ГГц

	УБЛ (E)	УБЛ (H)	КЗД, дБ	КУ, дБ	ШГЛ, °
Проводная сетка	-16	-20	27	25,4	9
T_1 [6]	-22	-18	27	23,7	9
T_2 [6]	-21	-18	22	20,8	9
T_3 [6]	-18	-17	18	19,2	9

Таким образом, в данной работе рассмотрена эффективность использования эквивалентной проводной сетки при моделировании сложных конструкций антенн из композитных материалов на примере развертываемой космической зеркальной антенны с разреженной поверхностью. Результаты, полученные с помощью проводной сетки, сравнивались с результатами, полученными в другой работе для разных типов стеки отражающих рефлекторов. Полученные результаты показали, что использование проводной сетки приемлемо, так как характеристики антенны согласуются между собой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России по проекту FEWM-2022-0001.

ЛИТЕРАТУРА

1. Numerical form-finding of geotensoid tension truss for mesh reflector / S. Morterolle, B. Maurin, J. Quirant, Ch. Dupuy // *Acta Astronautica*. – 2012. – Vol. 76. – PP. 154–163.
2. Numerical investigations of shape of the reflecting surface made of knitted mesh fabric being pulled on the curvilinear frame / V. Meshkovsky, A. Sdobnikov, S. Churilin, Y. Kisanov // *EPJ Web of Conferences EPPS2019*. – 2019. – Vol. 221. – P. 01031.
3. Form-finding methods for deployable mesh reflector antenna / T. Li, H. Deng, Z. Lin, Z. Wang // *Chinese Journal of Aeronautics*. – 2013. – Vol. 26, No. 5. – PP. 1276–1282.
4. Харрингтон Р.Ф. Применение матричных методов к задачам теории поля // *Труды Института инженеров по электронике и радиотехнике*. – 1967. – № 2. – С. 5–19.
5. On wire-grid representation for modeling symmetrical antenna elements / A. Alhaj Hasan, D.V. Klyukin, A.A. Kvasnikov, M.E. Komnatnov, S.P. Kuksenko // *Symmetry*. – 2022. – Vol. 14, No. 7. – P. 1354.
6. Головин В.В. Исследование характеристик развертываемой космической зеркальной антенны с разреженной отражающей поверхностью / В.В. Головин, Ю.Н. Тыщук // *Журнал радиоэлектроники*. – 2023. – № 1.