

УДК.621.372

ВЫБОР РАЗМЕРА ИЗЛУЧАЮЩЕЙ АПЕРТУРЫ ЗЕРКАЛЬНОЙ АНТЕННЫ С РЕФЛЕКТОРОМ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Дударев Святослав Валерьевич, Дударев Александр Валерьевич,
Дударев Николай Валерьевич

Южно-уральский государственный университет, Россия, г. Челябинск

В данной статье исследуется выбор оптимального размера излучающей апертуры зеркальной антенны с рефлектором специальной формы для обеспечения наилучшего сочетания таких параметров диаграммы направленности, как крутизна переднего фронта диаграммы направленности (ДН), обращённого к поверхности земли, и качество совпадения ДН с заданной косекансной. Электродинамическое моделирование и оптимизация размеров излучающей апертуры зеркальной антенны проводилось в программном пакете ANSYS HFSS в строгой дифракционной постановке. Выводы сделаны на основе графических зависимостей и диаграмм, полученных при моделировании.

Ключевые слова: излучающая апертура, косекансная диаграмма направленности, зеркальная антенна с рефлектором специальной формы, электродинамическое моделирование.

THE CHOICE OF THE SIZE OF THE RADIATING APERTURE OF A MIRROR ANTENNA WITH A REFLECTOR OF SPECIAL FORM

Dudarev Svyatoslav Valerevich, Dudarev Alexander Valerevich,
Dudarev Nikolai Valerievich

This article examines the choice of the optimal size of the radiating aperture of a mirror antenna with a special-shaped reflector to ensure the best combination of such radiation pattern parameters as the steepness of the leading edge of the radiation pattern (RP) facing the earth's surface and the quality of the RP coincidence with a given cosecance. Electrodynamics modeling and optimization of dimensions of the radiating aperture of the mirror antenna was carried out in the ANSYS HFSS software package in a strict diffraction formulation. Conclusions are made on the basis of graphical dependencies and diagrams obtained during modeling.

Keywords: radiating aperture, cosecant radiation pattern, mirror antenna with reflector of special shape, electrodynamic modeling.

Введение

Излучающая часть антенны представляет собой так называемую апертуру, которая имеет определённые размеры в виде числовых параметров. Качество, создаваемой диаграммы

направленности (ДН) зависит от величины параметров, задающих размеры апертуры. Очевидным является тот факт, что при увеличении размеров излучающей апертуры качество ДН также увеличивается, но актуальным и наиболее интересным является обеспечение наилучшего качества ДН с минимальными размерами апертуры и антенны в целом. То есть актуальность данного исследования заключается в выборе оптимального варианта излучающей апертуры для зеркальной антенны с рефлектором специальной формы.

Зеркальная антенна с рефлектором специальной формы и косекансная ДН

Исследования по определению оптимальных характеристик излучающей апертуры проведены для зеркальной антенны с рефлектором специальной формы, состоит он из двух ярко выраженных частей: верхняя часть имеет форму, близкую к параболической, и создаёт почти параллельный пучок отражённых лучей, а нижняя часть имеет форму, близкую к круговому цилиндру, и создаёт расходящиеся отражённые лучи.

Профиль такого рефлектора рассчитывают с помощью математических программных пакетов по методу геометрической оптики, имеются различные разновидности такого метода [1]. На рис. 1 изображена физическая модель¹ такой антенны, используемая для расчёта, размеры излучающей апертуры заданы параметрически (интерактивное изменение геометрии антенны при изменении параметра).

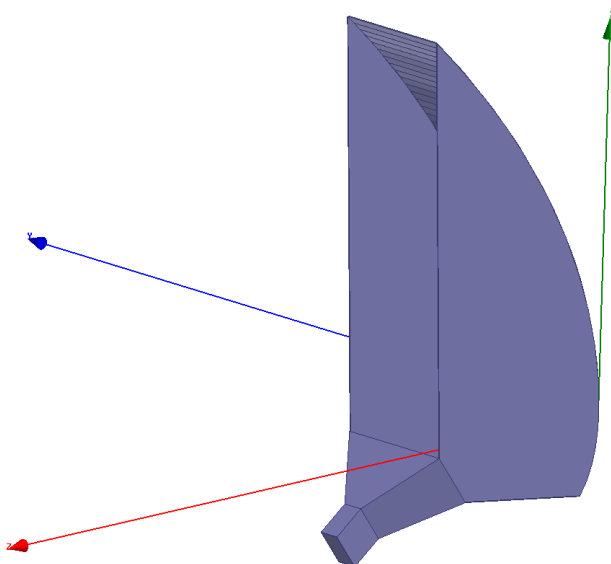


Рисунок 1. Физическая модель зеркальной антенны с рефлектором специальной формы

¹ Физическая модель – это модель, геометрия которой соответствует реальной, но в модели имеются некоторые упрощения, не влияющие на физические процессы, протекающие в ней.

Рефлектор такой антенны также может представлять собой сплайн, представленный в виде полиномов определённой степени [4, 6]. Варьируя форму такого сплайна, можно добиться хорошего качества ДН.

Зеркальная антенна с рефлектором специальной формы имеет ДН в виде косеканса в вертикальной плоскости и узкую ДН в горизонтальной плоскости. Такая ДН используется в радиолокации и радионавигации для определения расстояния до воздушного или наземного объекта (в зависимости от размещения – наземного или бортового) [1, 2, 3]. На рис. 2 изображена косекансная ДН в декартовой и сферической системе координат.

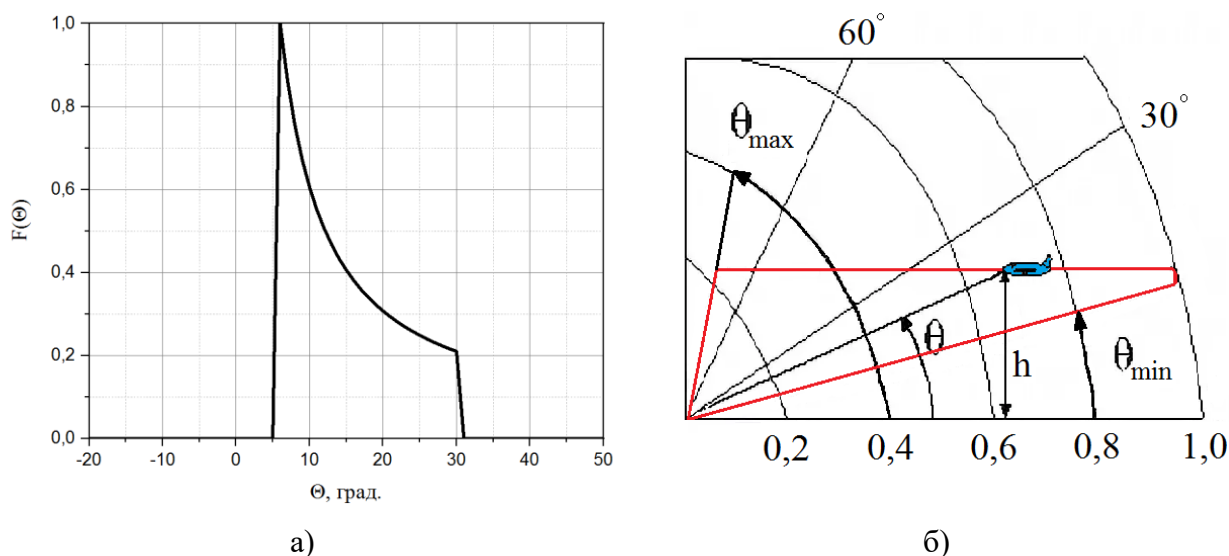


Рисунок 2. Косекансная ДН: а) в декартовой системе координат, б) в сферической системе координат

Такую ДН можно получить не только с помощью зеркала с рефлектором специальной формы, но и другими способами [5].

Важными параметрами косекансной ДН являются крутизна переднего фронта ДН, обращённого поверхности земли (в случае наземного расположения антенны передний фронт располагается как показано на рис. 2 б, а при бортовом размещении антенны передний фронт направлен «от земли»); качество совпадения ДН с косекансом в заданной области углов. С помощью крутизны переднего фронта ДН обеспечивается дальность действия радиомаяка – то есть чем больше этот параметр, тем дальше обзор дальномера. Чем лучше качество совпадения ДН с косекансной в заданном секторе углов, тем более равномерное распределение напряжённости электрического поля.

Таким образом, для оценки полученных ДН при оптимизации параметров излучающей апертуры антенны будем использовать крутизну переднего фронта ДН и качество совпадения ДН с косекансной.

Выбор размеров апертуры

Под апертурой в антенной технике понимают излучающую часть антенны, в данном случае для зеркальной антенны с рефлектором специальной формы апертура представляет собой плоскую

воздушную поверхность, расположенную между боковыми пластинами антенны и рупором (рис. 3 а). Параметры, отвечающие за изменение размеров апертуры, представляют собой высоту - L и ширину излучающей поверхности - S (рис. 3 б). При изменении размеров апертуры также необходимо пропорционально изменять параметры, отвечающие за форму и размер рефлектора и боковых стенок (иначе параметрический синтез будет ошибочным, так как форма и размер зеркала также должны изменяться в определённой пропорции).

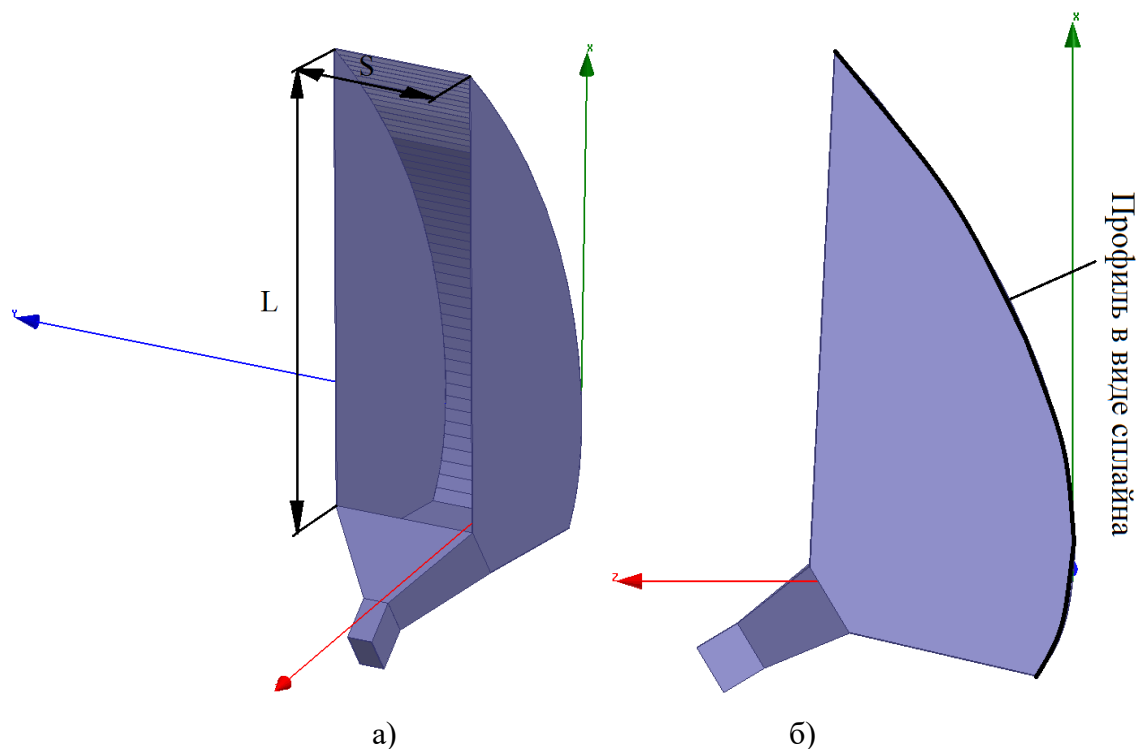


Рисунок 3. Зеркальная антенна с рефлектором специальной формы: а) параметры апертуры, б) профиль рефлектора в виде сплайна

Для разработчиков антенно-фидерных устройств очень важно знать какого размера апертуры и общего размера антенны будет достаточно для определённого «качества» косекансной ДН.

В табл. 1 приведены данные исследования о влиянии размера излучающей апертуры на крутизну переднего фронта ДН и качество совпадения ДН с косекансной. Все размеры приведены относительно длины волны. Следует отметить, что в первом столбце указаны размеры апертуры в виде длина \times ширину и выбор второго размера не столь критичен для качества косекансной ДН, так как он определяет ширину ДН в другой плоскости – горизонтальной. Также из таблицы видно, что при увеличении размеров апертуры качество совпадения ДН с косекансной увеличивается. Целью исследования, как уже говорилось ранее, была демонстрация изменения «параметров» косекансной ДН при размерах излучающей апертуры и антенны в целом.

Таблица 1. Результаты исследования влияния размеров антенны на параметры ДН

Размер излучающей апертуры, в λ	Общий размер антенны (вертик.), λ	Крутизна переднего фронта, 1/град.	Качество совпадения ДН с косекансной, %
3,2×1	4	0,06-0,077	20-40
5,1×1	6	0,085-0,1	40-60
7×1	8	0,105-0,12	40-75
8,8×1	10	0,11-0,145	70-90
10,4×1	12	0,13-0,17	≈90
12,2×1	14	0,16-0,2	>95

На рис. 4 показаны ДН для трёх случаев: для излучающей апертуры 5,1 λ , 7 λ и 8,8 λ . Из графиков видно, что при увеличении размеров излучающей апертуры «качество» совпадения ДН с косекансной улучшается. Данные графики и другие, на основе которых были получены табличные значения, были получены в результате параметрического моделирования в программном пакете строгого дифракционного моделирования ANSYS HFSS.

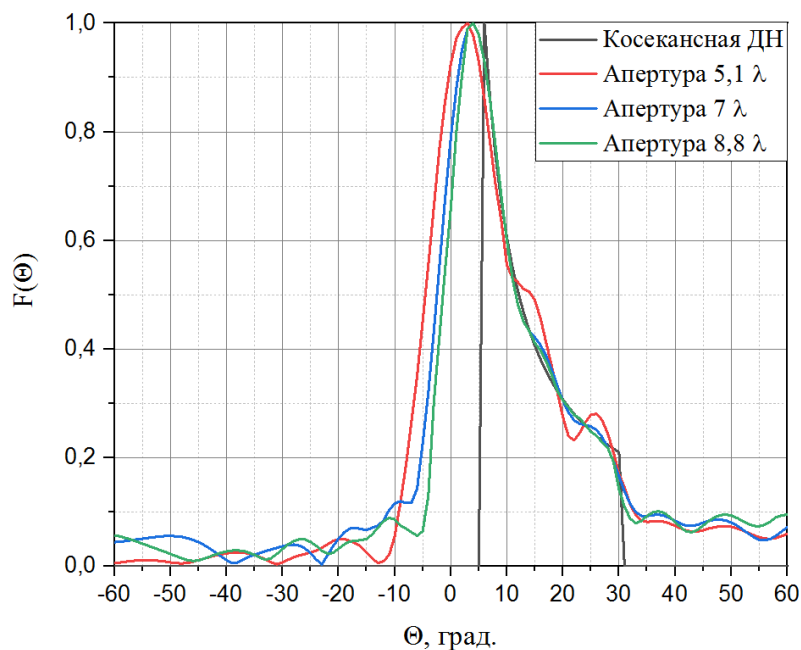


Рисунок 4. ДН для антенн с различным размером излучающей апертуры

Выводы

В статье приведена информация, которая поможет в выборе общего размера и размера излучающей апертуры зеркальной антенны с рефлектором специальной формы для обеспечения оптимального сочетания «качества» параметров косекансной ДН и массогабаритных характеристик антенны – ведь так важно спроектировать антенну, которая будет обладать хорошими характеристиками и небольшими размерами.

Список литературы

1. Драбкин, А.Л. Антенно-фидерные устройства / А.Л. Драбкин, В.Л. Зузенко. – М: Издательство «Советское радио», 1961. – 816 с.
 2. Антенны УКВ: в 2 ч. / под ред. Г.З. Айзенберга, Ч. 1. - М.: «Связь», 1977. – 383 с.
 3. Сазонов, Д.М. Антенны и устройства СВЧ: учебное пособие / Д.М. Сазонов. – М.: Высшая школа, 1988. – 432 с.
 4. Французов, А.Д. Основы расчёта и конструирования излучающих устройств: учебное пособие / А.Д. Французов. – Челябинск: Челябинский политехнический институт, 1981. – 66 с.
 5. Дударев, С.В. Способы формирования косекансной диаграммы направленности / С.В. Дударев, А.В. Дударев, Н.В. Дударев // Научно-технический журнал «Теория. Практика. Инновации». – 2019. - №38. – С. 98-102.
 6. Borovikov, V.A. Geometrical theory of diffraction / V.A. Borovikov, B.Ye. Kinber. – London: The Institution of Electrical Engineers, 1994. – 403 p.
-