электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

УДК 621.396.677

Моделирование трансформируемой зеркальной антенны ферменной конструкции для космического аппарата

 # 03, март 2012

Варавина Е.М., Зайцев О.О.

Студенты,
кафедра «Радиоэлектронные системы и устройства»

Научный руководитель: Комягин Р.В.,
к. т. н., доцент кафедры «Радиоэлектронные системы и устройства»

МГТУ им. Н.Э. Баумана
varavina.ekaterina@gmail.com

Приведены результаты расчета характеристик однозеркальной развертываемой ферменной крупноапертурной антенной системы для размещения на борту космических аппаратов. Исследованы характеристики трансформируемой антенной системы в зависимости от точности воспроизведения поверхности.

В спутниковых информационных системах для создания высокого энергетического потенциала часто требуется, чтобы ширина парциального луча диаграммы направленности (ДН) была порядка одного градуса и даже меньше. Это означает, что в сравнительно низкочастотных диапазонах (в частности в S-диапазоне) антенная система, формирующая столь узкие лучи, не может быть помещена под обтекатель ракеты-носителя. Поэтому, единственным выходом является создание трансформируемых антенн, которые имеют различные габариты в рабочем и транспортном положениях.

Наиболее распространенными типами трансформируемых зеркал крупноапертурных антенн являются зонтичные антенны и антенны на основе ферменных конструкций. Оба указанных типа трансформируемых антенн обеспечивают воспроизведение отражающей поверхности зеркала с погрешностью, которая приводит к появлению фазовых ошибок в раскрыве и, таким образом, к увеличению среднеквадратического уровня бокового излучения. Дисперсия указанных фазовых ошибок зависит от точности воспроизведения требуемого профиля отражающей поверхности после развертывания.

В настоящей статье рассматриваются и анализируются результаты моделирования зеркальной антенны ферменной конструкции с целью установления степени влияния точности воспроизведения отражающей поверхности на основные электрические характеристики антенны. Такой анализ имеет принципиальное значение, поскольку позволяет судить о необходимом количестве пролетов ферменной конструкции и, таким образом, ее массе и коэффициенте трансформации.

Ферменные конструкции являются перспективным вариантом каркаса для трансформируемых антенн больших размеров. Такие конструкции состоят из

большого числа элементов (чаще всего однотипных), образующих пространственную ферму в развернутом состоянии (рис. 1). Стержни обычно выполняют из углепластика. Многошарнирные соединения стержней с механизмами развертывания (пружинные приводы) выполняют из титана. Отражающая поверхность зеркала выполняется из сетеполотна.

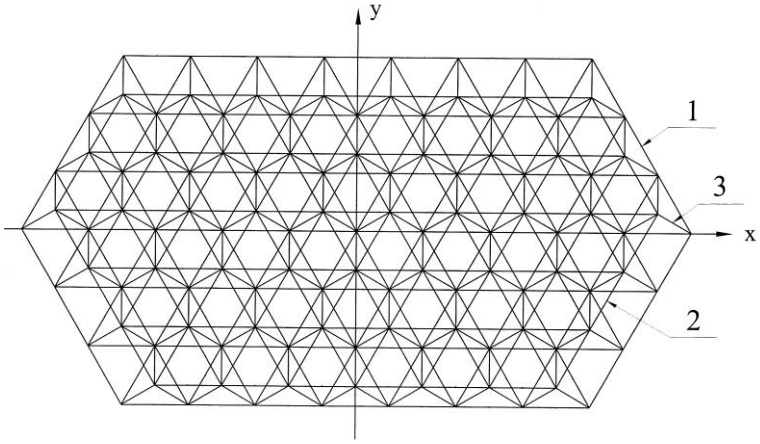
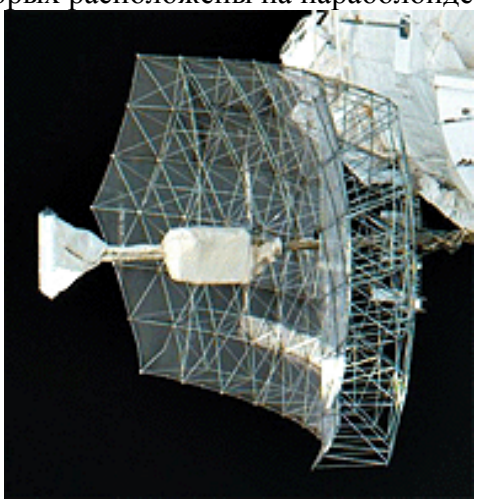


Рис. 1. Ферменная конструкция: 1 – верхний пояс конструкции; 2 – нижний пояс; 3 – промежуточные ребра.

Преимущества ферменных конструкций состоят в технологичности, компактности в сложенном состоянии, малой массе, приходящейся на единицу площади раскрыва антенны.

Отражающая поверхность антенны с идеальной ферменной конструкцией представляет собой множество плоских треугольных элементов (рис. 1), вершины которых расположены на параболоиде вращения.



а

б

Рис. 2. Антенная система SAR с рефлектором 6 м х 2.8 м: а – антенна SAR в развернутом положении; б – в сложенном положении.

На рис. 2 показана антенная система SAR (synthetic aperture radar) с рефлектором размером 6 м х 2.8 м. Масса рефлектора менее 80 кг. Коэффициент раскрытия – 100. Конструкция используется в ряде отечественных и международных проектов. Прошла успешные испытания на орбитальной станции «МИР». Возможна реализация антенны подобной конструкции с зеркалами диаметром до 22 м.

В данной статье рассматривается расчет крупноапертурной развертываемой ферменной зеркальной антенны с фокусным расстоянием 4 м и размером раскрыва

зеркала 6.985 м х 5.88 м на частоте 3 ГГц с помощью пакета прикладных программ моделирования СВЧ структур FEKO. Главной особенностью программы FEKO, отличающей ее от аналогичных продуктов, является удачное сочетание численных методов решения трехмерных электродинамических задач (метода моментов) с приближенными аналитическими методами: методом физической оптики и однородной теорией дифракции. Такое сочетание позволяет в значительной мере преодолеть главный недостаток программ компьютерного моделирования высокочастотных структур – существенные затраты ресурсов при моделировании объектов с большими электрическими размерами.

Таким образом (ввиду больших электрических размеров зеркала антенной системы), его расчет с помощью метода моментов не представляется возможным, поэтому будем проводить расчет методом физической оптики с большими элементами разбиения, а облучатель системы в виде рупорной антенны методом моментов.

Конструктивно зеркало антенны представляет собой усеченный параболоид вращения. Поверхность сформирована из множества плоских элементов треугольной формы, вершины которых лежат на параболоиде вращения (рис. 3).

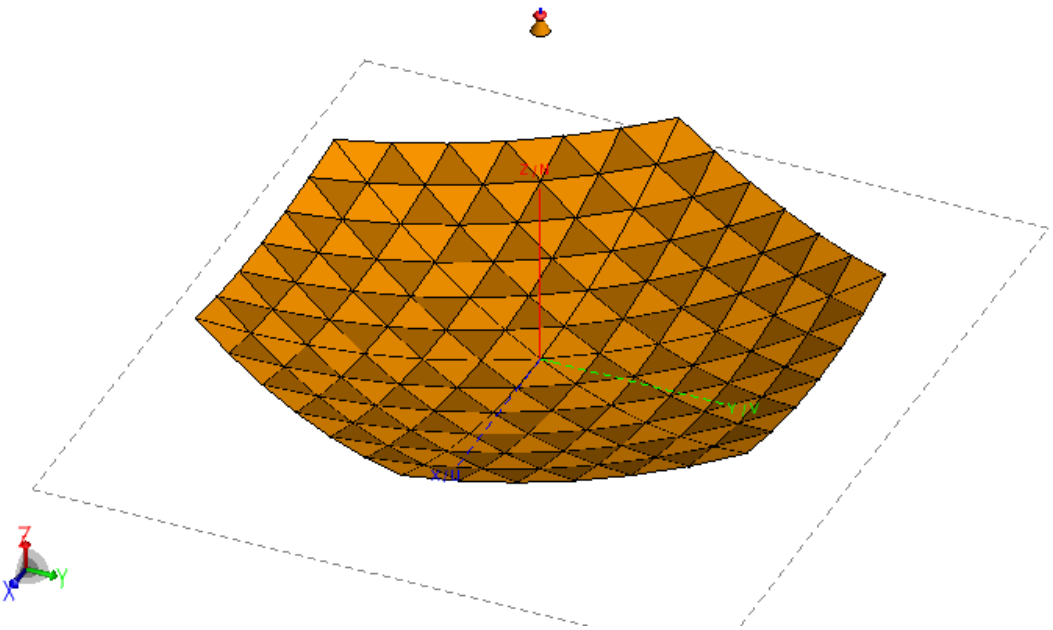


Рис. 3. Модель антенной системы с использованием 216–и аппроксимирующих фацетов в пакете прикладных программ FEKO.

В ходе расчетов была проведена оценка влияния размеров стороны аппроксимирующих треугольников на основные характеристики антенной системы, а также сравнение характеристик антенной системы с использованием ферменной конструкции и антенной системы, использующей параболоид вращения с такими же параметрами, как и зеркало, образованное ферменной конструкцией (фокусное расстояние, усеченность).

Для антенной системы, использующей ферменную конструкцию в первом случае при аппроксимации параболоида 6-ю плоскостями (рис. 4а), не удалось получить четкий главный максимум ДН (таблица), а во втором (рис. 4б) и третьем (рис. 4в) случаях не удается достигнуть характеристик, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к антенным системам спутниковых информационных систем. В четвертом эксперименте достигается наибольший коэффициент усиления

(КУ) 43.4 дБ и наименьший уровень боковых лепестков (УБЛ) -22.9 дБ. Дальнейшее увеличение числа аппроксимирующих плоскостей является нецелесообразным, так как, приводя к незначительным улучшениям электродинамических характеристик, ведет к значительному усложнению конструкции, увеличению ее размеров в транспортном состоянии, увеличению массы антенной системы (АС) и, как следствие, увеличению ее стоимости.

В случае моделирования идеального параболоида вращения (рис. 4г) наблюдается значительное улучшение УБЛ при практически неизменном КУ и ширине главного максимума ДН по уровню половинной мощности.

Основные характеристики антенной системы.

Количество аппроксимирующих фацетов	КУ, дБ	Для сечения плоскостью XOZ		Для сечения плоскостью YOZ	
		УБЛ, дБ	Ширина главного лепестка ДН, град.	УБЛ, дБ	Ширина главного лепестка ДН, град.
6	-	-	-	-	-
54	41.9	-19.2	1.076	-11.2	1.202
108	41.9	-21.9	1.068	-17.7	1.27
216	43.4	-36	1.078	-22.9	1.31
Идеальный параболоид вращения	43.5	-41	1.058	-34	1.3

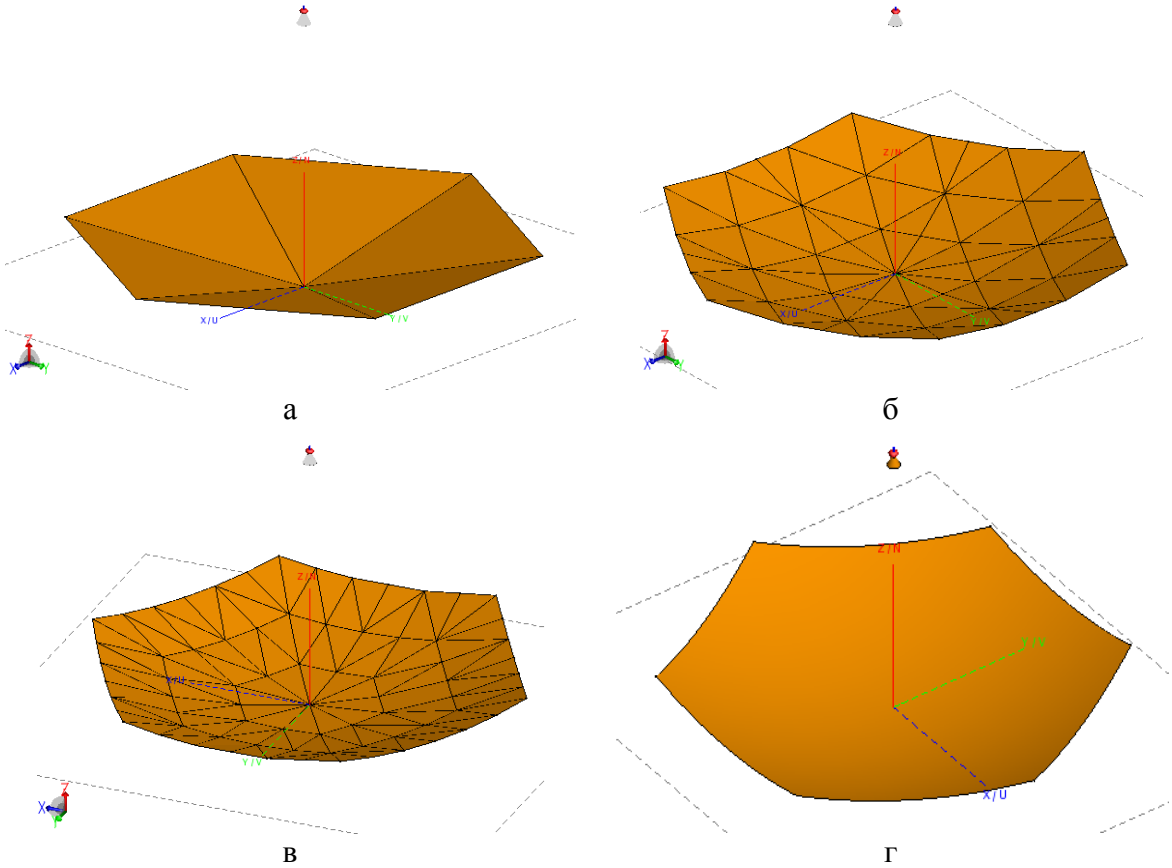
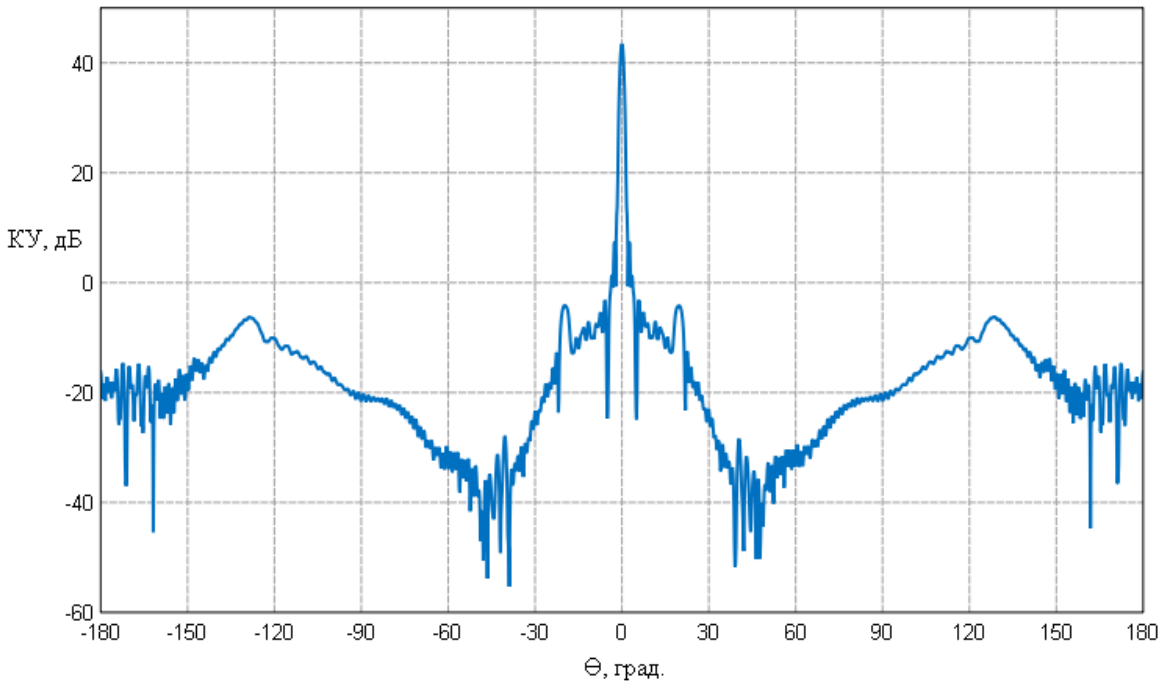
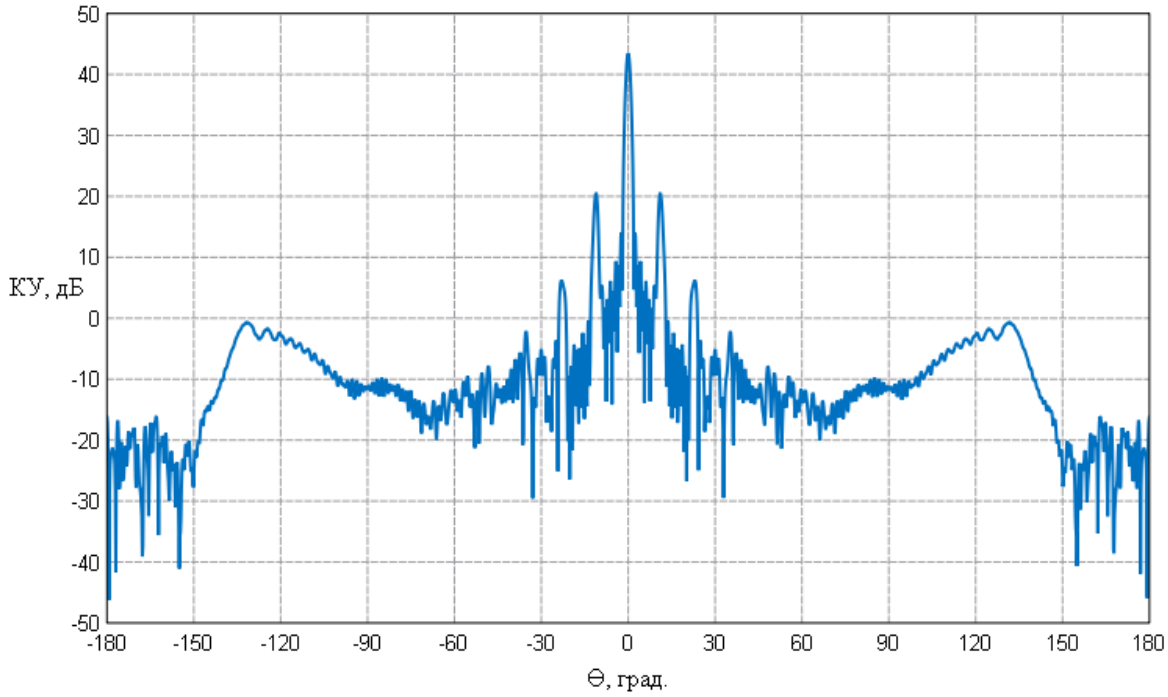


Рис. 4. Модель ферменной антенной системы с различным числом аппроксимирующих фацетов: а – 6 фацетов; б – 54 фацета; в – 108 фацетов; г – идеальный параболоид вращения.



а



б

Рис. 5. Сечения ДН: а – плоскостью XOZ; б – сечение плоскостью YOZ.

Сечения ДН для выбранной модели фермы приведены на рис. 5. Из моделирования следует, что УБЛ в плоскости XOZ значительно лучше, чем в плоскости YOZ. Это объясняется тем, что аппроксимация поверхности параболоида вдоль оси OX производится с шагом равным боковой стороне фацета, а именно 0.6 м, а вдоль оси OY с шагом равным высоте равнобедренного треугольника, то есть в корень из двух раз больше.

Также было проанализировано влияние квадратичных искажений на краю раскрыва зеркала на основные характеристики антенной системы. Из рис. 6 – 8 следует, что величина допустимых квадратичных искажений должна быть ограничена значением λ/4 на краю раскрыва (λ – длина волны), так как при этом значении потери КУ составляют 3 дБ, а также происходит заметное искажение формы ДН.

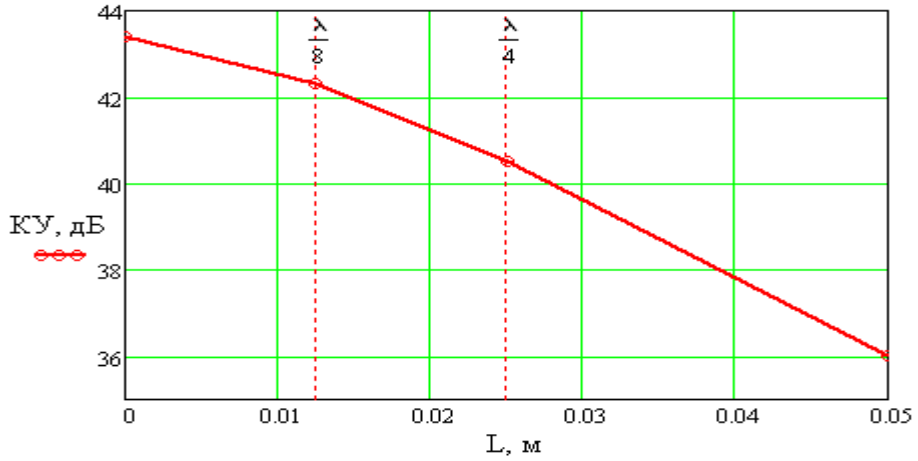


Рис. 6. Зависимость КУ от величины искажений на краю раскрыва (L).

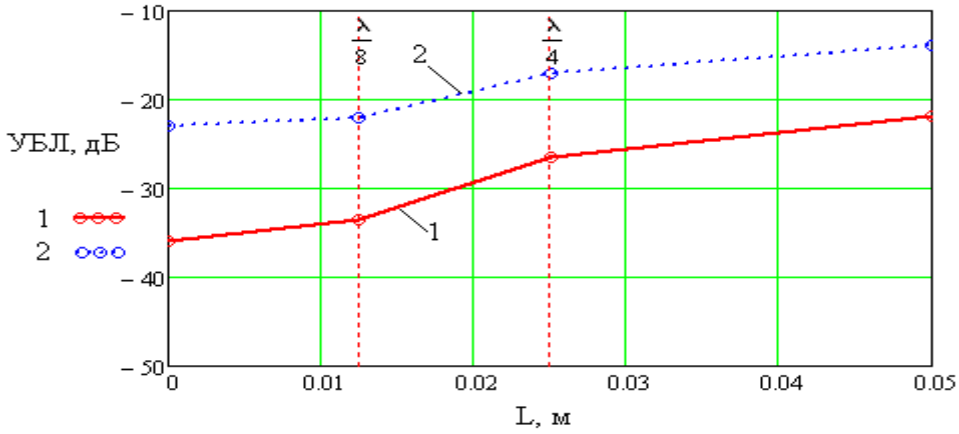


Рис. 7. Зависимость УБЛ от величины искажений на краю раскрыва (L): 1 – в сечении плоскостью XOZ; 2 – в сечении плоскостью YOZ.

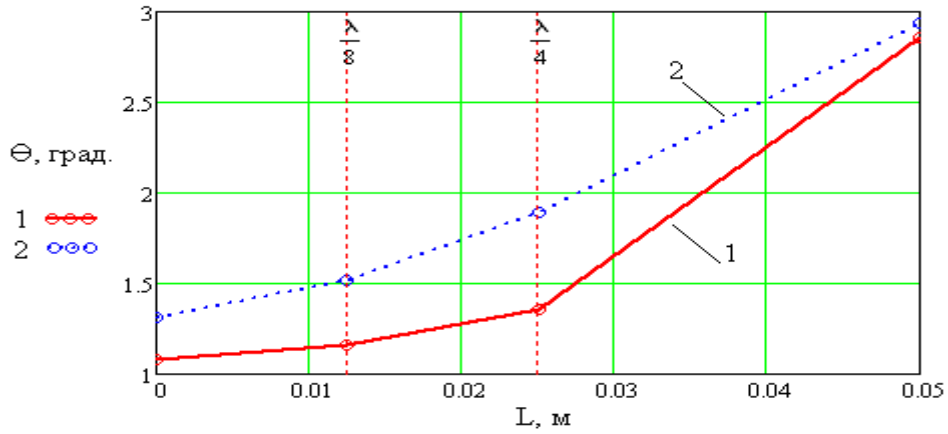


Рис. 8. Зависимость ширины главного лепестка ДН (θ) от величины искажений на краю раскрыва зеркала (L): 1 – в сечении плоскостью XOZ; 2 – в сечении плоскостью YOZ.

Для повышения энергетического потенциала спутниковых систем связи целесообразно использовать многолучевые антенны с большим количеством парциальных лучей. В ходе расчетов для данной антенной системы было установлено, что отклонению главного максимума ДН на 2.6 ° соответствует увеличение УБЛ до -22.1 дБ, а отклонению на 5.5 ° соответствует УБЛ -16.6 дБ, поэтому, для создания многолучевой антенной системы на базе данной ферменной конструкции рекомендуется использовать двухзеркальный метод построения антенной системы или использовать модифицированные и апланатические зеркала, менее чувствительные к отклонению облучателя от точки фокуса антенны.

В данной работе было исследовано влияние точности воспроизведения поверхности на основные характеристики антенной системы. Было установлено, что для обеспечения удовлетворительных характеристик при заданных рабочей частоте и размерах зеркала число пролетов фермы должно быть не менее 12. Проанализированы квадратичные искажения и введены ограничения на их значения на краю раскрыва зеркала (допустимое отклонение точек на краю отражающей поверхности от расчетного профиля составляет не более λ/4). Получены допустимые углы отклонения главного максимума ДН. Так для угла отклонения ДН на 2.6 ° УБЛ составляет -22.1 дБ, а для угла 5.5 ° он возрастает до -16.6 дБ.

Список литературы:

1. Бей Н.А., Вечтомов В.А., Зимин В.Н. Антенны систем спутниковой связи и навигации: Учеб. Пособие. М.: Рудомино, 2010. 220 с.
2. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет излучаемых структур с помощью FEKO. М.: ЗАО «НПП «РОДНИК»», 2008. 246 с.