

УМЕНЬШЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. СКЛАДНОЙ АНТЕННЫЙ ОТРАЖАТЕЛЬ ФРЕНЕЛЯ

Кайда С.В., студент

Паслен В.В., канд. техн. наук, доцент

Донецкий национальный технический университет, Украина

Участники конференции,

Национального первенства по научной аналитике,

Открытого Европейско-Азиатского первенства по научной аналитике

Эта работа посвящена разработке антенного отражателя с минимальными массогабаритными параметрами и максимальной радиоотражающей способностью для вывода антенны на орбиту.

Ключевые слова: отражатель, зоны Френеля, сотовая конструкция.

This work is dedicated to the development of antenna reflector which has minimum mass, size and maximum radio reflecting ability for taking antenna on orbit

Keywords: reflector, Frenel's zone, honeycomb structure.

В настоящее время перспективы развития аэрокосмической техники обусловлены созданием высокоэффективных параболических антенных систем.

Антенны на космических летательных аппаратах должны надежно работать в условиях повышенного уровня радиации, наличия микрометеоритов, длительного воздействия ультрафиолетового солнечного излучения. Передающие антенны должны обладать достаточной электрической прочностью для того, чтобы независимо от высоты полета не возникали высокочастотные разряды, приводящие к потерям мощности и искажающие форму сигнала. Отражающая поверхность должна быть выполнена из материала с высокой проводимостью. Для получения высокого коэффициента направленного действия и низкого уровня боковых лепестков форма зеркала должна соответствовать определенным допускам. Надежность является одним из самых важных параметров космической антенны. Так как расходы, связанные с выводением космического корабля очень велики, то правильное функционирование всех узлов и элементов необходимо. Ограничения по объему и весу космических устройств обычно приводят к тому, что антенны с большими размерами выполняют в виде конструкций надувного или раздвижного типа. Поскольку такие антенны являются полужесткими, работа в тяжелых условиях космической среды ставит дополнительные проблемы, связанные с материалами и электрическими характеристиками антенн. Однако, зеркальные антенны пригодны для использования их в виде складных конструкций.

Складная космическая антенна – это такая антенна, которая при пролете атмосферы космическим летательным аппаратом находится в сложенном состоянии и занимает мало места внутри него, а при выходе в космос по команде от программного устройства разворачивается и принимает необходимые для нормальной работы форму, ориентацию и размеры.

Таким образом, все конструкции больших космических отражателей построены на основе тех или иных принципов изменения геометрии структуры, например, таких, как механическое разворачивание или выдвижение стержней, наполнение воздухом компактно сложенных структур и натягивание мембраны между элементами конструкции. Выбор способа разворачивания антенны зависит от размеров отражателя, ограниченной объема и требуемой долговечности антенны в космических условиях.

Одним из способов классификаций складных антенн является классификация по коэффициенту развертывания. Коэффициент развертывания антенны – это отношение ее размеров в развернутом и сложенном состоянии. В зависимости от требуемого коэффициента развертывания можно применить антенны, у которых изменение размеров основано на различных принципах. По этим принципам антенны классифицируются следующим образом:

- механически разворачиваемые антенны;
- саморазворачивающиеся антенны;
- надувные антенны.

Также эффективность конструкции антенны может оцениваться по удельной массе ее квадратного метра. Эффективными значениями этих показателей считают:

- коэффициент трансформации, приблизительно равный 46;
- масса 1 м² площади зеркала, приблизительно равная 0,37 г/м².

Для достижения таких показателей важную роль играют показатель металлотрикожажного полотна, используемого для отражающей поверхности антенн.

Складывающиеся (трансформируемые) антенны потребовали создания гибких радиоотражающих поверхностей с высоким (97.. 99%) коэффициентом радиоотражения в рабочем диапазоне частот, минимальным усилием растяжения, высокой стабильностью физико-механических и электрофизических характеристик при хранении и длительном сроке эксплуатации.

В качестве отражающих поверхностей складных антенн, можно выделить:

- металлизированные полимерные пленки;
- металлизированные тканые материалы из синтетических и искусственных нитей, или из искусственных текстильных нитей с включением металлических нитей, обладающих высокой электропроводностью;
- металлизированные трикотажные материалы из полимерных текстильных нитей;
- трикотажные сетчатые материалы из текстильных нитей, состоящих из металлических электропроводных и химических волокон, или из металлических нитей (монокити, комплексной нити, пряжи).

Выбор материала покрытия зависит от их способности уменьшать контактное сопротивление сетки, т.е. увеличивать ее отражающую способность.

Трудность изготовления параболических отражателей вынудила искать альтернативные конструкции антенн, более технологичных в производстве и самостоятельном изготовлении. К таким конструкциям относится плоский зональный отражатель Френеля, в котором рабочая поверхность плоского зеркала состоит из отдельных частей – зон. К основным требованиям антенн выводимых на орбиту относят минимальные массогабаритные параметры и максимальная радиоотражающая способность. Эти качества присущи зональному отражателю Френеля, а также высокая технологичность производства, возможность изготовления антенн больших размеров.

Учитывая преимущества зонального отражателя Френеля и недостатки параболической антенны, сделали вывод, что разработка антенн с зональной поверхностью является очень перспективной.

Известный антенный отражатель Френеля представляет собой плоскую радиопрозрачную пластину с нанесенными на нее проводящими концентрическими кольцевыми поверхностями, расположенные в одной плоскости. Облучатель так же, как и у параболической антенны, находится перед самой антенной, имеет место явление дифракции, а не фокусирования в одну точку всех волн, отраженных от поверхности антенны. Это вызвано тем, что под воздействием падающей волны электромагнитного поля, согласно принципу Гюйгенса-Френеля, каждое кольцо становится источником вторичного излучения. Подбирают такую ширину каждого кольца зональной антенны и расстояния между ними, чтобы сигналы вторичного излучения от средних линий каждого кольца в определенной точке пространства совпадали по фазе. Согласно принципу Гюйгенса-Френеля кольца, которые становятся источником вторичного излучения, фазы сигналов которых совпадают, т.е. нечетные кольца выполняются из проводящего материала. Кольца отражающие волны электромагнитного поля в противоположной фазе изготовлены из радиопрозрачного материала.

Известный антенный отражатель используется в наземных радиоэлектронных комплексах. Использование его в космосе не представляется возможным, так как его масса и геометрические размеры делают его экономически невыгодным при транспортировке на орбиту.

В основу данной работы поставлена задача усовершенствования антенного отражателя Френеля в которой за счет использования сотовой конструкции с функцией раскрытия обеспечивается снижение массы конструкции, уменьшение ее габаритов, а следовательно и затрат на транспортировку, при сохранении тех же параметров зональной антенны Френеля, в частности коэффициента усиления.

Поставленная задача решается благодаря тому, что антенный отражатель, содержащий нечетные проводящие концентрические кольцевые поверхности, расположенные в одной плоскости на радиопрозрачном основании, причем радиопрозрачное основание выполнено в форме сотовой конструкции, состоящей из совокупности идентичных призм и которая имеет функцию раскрытия, при этом внутренний диаметр шестигольника сотовой призмы составляет меньше половины длины волны сигнала, а ширина соединительной поверхности граней призм равна или больше 0,05 длины волны сигнала и покрыто проводящим материалом.

Параметры антенны

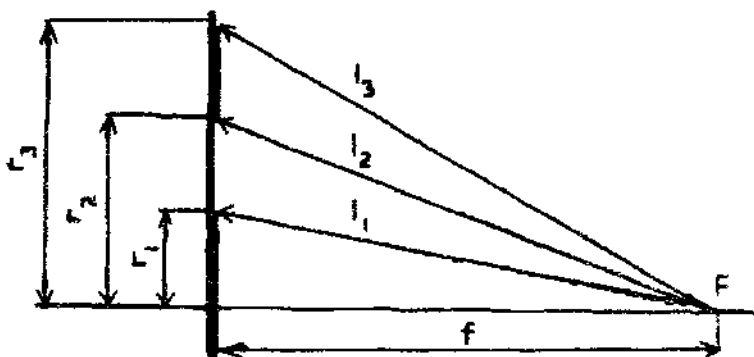


Рисунок 1 – Определение фокусного расстояния зональной антенны

Расстояния между краями колец и фокусом:

$$l_n = f + (2n - 1) \cdot \lambda/4$$

где $ln(n=1, 2, 3 \dots)$ – расстояние от фокуса до краев кругов,

f – расстояние от фокуса до центра кольца,

m - радиусы колец,

λ - длина волны.

Радиус диска:

$$r_1 = \sqrt{f \cdot \lambda/2 + (\lambda/4)^2}$$

Аналогично получаются соотношения для радиусов колец:

$$r_2 = \sqrt{3f \cdot \lambda/2 + (3\lambda/4)^2}; r_3 = \sqrt{5f \cdot \lambda/2 + (5\lambda/4)^2}; r_4 = \sqrt{7f \cdot \lambda/2 + (7\lambda/4)^2}$$

$$r_5 = \sqrt{9f \cdot \lambda/2 + (9\lambda/4)^2} \text{ и т.д.}$$

Или в общем случае:

$$r_n = \sqrt{\frac{(2n-1)f\lambda}{2} + \frac{(2n-1)^2\lambda^2}{16}}$$

Расфазировка между сигналами, излученными кромкой диска и его центром, а также кромками колец и их серединой составляет всего четверть длины волны.

Для получения узкополосной антенны, т. е. с расфазировкой менее, чем $\lambda/4$ предлагается использовать следующие формулы:

$$r_n = \sqrt{\frac{(2n-1)f\lambda}{2} + \frac{(2n-1)^2\lambda^2}{16}} + \frac{\lambda}{12} \text{ - для четных значений } n,$$

$$r_n = \sqrt{\frac{(2n-1)f\lambda}{2} + \frac{(2n-1)^2\lambda^2}{16}} - \frac{\lambda}{10} \text{ - для нечетных значений } n.$$

Новым в техническом решении является:

- радиопрозрачное основание выполнено в форме сотовой конструкции;
- сотовая конструкция состоит из совокупности идентичных призм;
- сотовая конструкция имеет функцию раскрытия;
- внутренний диаметр шестиугольника сотовой составляет меньше половины длины волны сигнала;
- ширина соединительной поверхности граней призм равна или больше 0,05 длины волны сигнала;

Отмеченные признаки определяют сущность работы приведенного на рисунке 2, где показана схематическая конструкция антенного отражателя, выполненного на основе сотовой конструкции, где 1 – радиопрозрачное основание, 3 – проводящие кольца, 2 – центральный диск. На рисунке 3 показана сотовая конструкция в увеличенном виде, где 4 - соединительная поверхность соты 5 в раскрытом виде.

Радиопрозрачное основание 1 выполненное в форме сотовой конструкции позволяет складываться и раскладываться антенному отражателю, что существенно уменьшает его массу и габариты. Причем внутренний диаметр шестиугольника сотовой призмы составляет меньше половины длины волны сигнала, а ширина соединительной поверхности сот 5 равна или больше 0,05 длины волны сигнала и покрыта проводящим материалом, так как вследствие невыполнения этих условий будут получены значительно ухудшенные параметры, в частности: искаженная диаграмма направленности, очень малые отношение сигнал/шум и коэффициент усиления, что экономически не выгодно. На радиопрозрачном основании 1 находятся центральный диск 2 – основа отражающей поверхности и проводящие нечетные концентрические кольцевые поверхности 3, отражающие сигнал с такой же фазой, что и центральный диск тем самым обеспечивая сужение диаграммы направленности. При расчете было определено, что объем конструкции в сжатом виде будет составлять около 60% от объема в раскрытом виде.

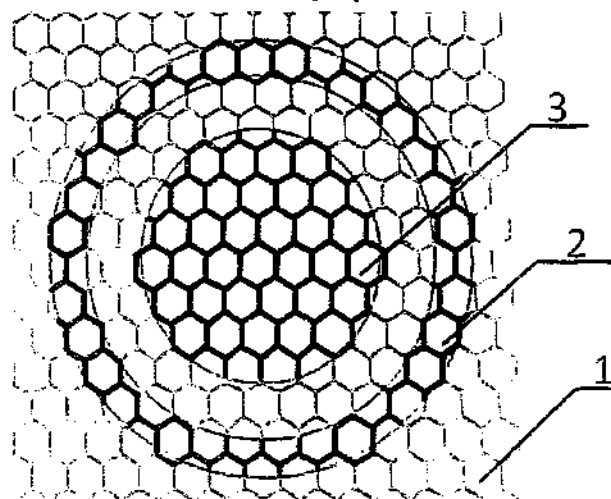


Рисунок 2 – Схематическое изображение складного антенного отражателя (1 - радиопрозрачное основание, 2 – кольцевая концентрическая поверхность, 3 - центральный диск)

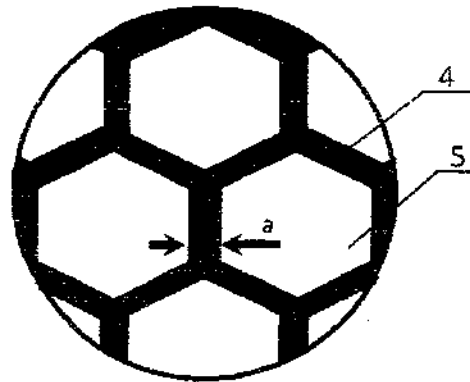


Рисунок 3 – Сотовая конструкция в увеличенном виде
4 – соединительная поверхность, 5 – сота

Таким образом, использование данного антенного отражателя на основе сотовой конструкции позволяет снизить металлоемкость и массогабаритные характеристики, а следовательно и экономические затраты при транспортировке.

Литература:

1. Журнал «Теле-Спутник» 6(32) Июнь 1998 стр. 68
2. Микроволновые антенны. Рудольф Кюн. Перевод с немецкого В.И. Тарабарина и Э.В. Лабцкого под редакцией проф. М.П. Долуханова. Судостроение, 1967. - 517 с.
3. Никитин В.А., Соколов Б.Б., Щербаков В.В., ТВ, РВ, Си-Би антенны»100 и одна конструкция, новые и старые варианты». — М.: Символ - - Р. 1997 г.
4. Сборник тезисов «Человек и космос» XII Международная молодежная научно-практическая конференция – Днепропетровск – 2010 – «Складной антенный отражатель» стр. 225 . Зайцева Ю. И , Паслен В. В.
5. Декларационный патент №52917 Антенный отражатель. Паслен В.В., Вахнова Е.В., Зайцева Ю.И., Мельник И.В. 09.2010, бюл.№17
6. Микроволновые антенны. Рудольф Кюн. Перевод с немецкого В.И. Тарабарина и Э.В. Лабцкого под редакцией проф. М.П. Долуханова. Судостроение, 1967. - 517 с.
7. Никитин В.А., Соколов Б.Б., Щербаков В.В., ТВ, РВ, Си-Би антенны. «100 и одна конструкция, новые и старые варианты». — М.: Символ — Р. 1997 г.
8. Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке - 2011 / Материалы 15-го Юбилейного Международного молодежного форума. — Харьков, ХНУРЭ — 2011, Том 3, с. 18-19. Ю.И.Зайцева, И.В.Мельник, В.В.Паслен

ой
не