



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»  
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)  
БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01

Факультет

И  
шифр

Информационные и управляющие системы

наименование

Кафедра

И4  
шифр

Радиоэлектронные системы управления

наименование

## Отчет о научно-исследовательской работе в семестре по теме

Контроль формы рефлектора крупногабаритной антенны

Выполнил студент  
группы И4М31

Гаврилова Ю. И.

Фамилия И.О.

**РУКОВОДИТЕЛЬ**

Страхов С. Ю.

Фамилия И.О.

Подпись

Оценка

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

## Реферат

Отчет содержит 12 стр., 16 источников и 3 приложения.

Ключевые слова: крупногабаритная антенна, рефлектор, контроль формы рефлектора.

Объектом исследования является процесс контроля формы рефлектора крупногабаритной трансформируемой антенны.

Целью магистерской диссертации является исследование системы контроля крупногабаритной трансформируемой антенны и подбор лазерного сканера, подходящего по заданным параметрам.

Задачи, необходимые выполнить в научно-исследовательской работе во 2 семестре:

1. Подготовка публикации, выступление на конференциях
2. Участие в студенческих научно-практических конференциях

## Содержание

Введение.....	4
Подготовка публикации и участие в студенческих конференциях .....	5
Заключение .....	6
Список использованных источников .....	7
Приложение А .....	9
Приложение Б .....	10
Приложение В.....	12

## **Введение**

Важное направление работ в области аэрокосмической техники непосредственно связано с созданием систем глобальной связи. Создание крупногабаритных трансформируемых антенн представляет большой интерес, как в России, так и в зарубежных странах. Разработки по созданию таких антенн начались еще в 80-х гг. XX века и продолжаются до сих пор. За это время было предложено множество различных конструкций. Но увеличение размеров космических антенн позволяет повысить коэффициент их использования.

Для недавно освоенных диапазонов дециметровых и сантиметровых волн возникла необходимость в создании больших космических антенн диаметром 10 - 100 метров. С увеличением мощности космических аппаратов все более актуальной становится проблема создания крупногабаритных трансформируемых антенн.

Такие системы раскрываются в рабочее положение на орбите в условиях невесомости. Система поддержания и управления формой антенны основана на механическом воздействии на отражающую поверхность антенны, что приводит к смещению элементов отражающего профиля. Поэтому отличительной особенностью крупногабаритных трансформируемых антенн является необходимость управления их формой и на стадии подготовки к работе, и во время функционирования, что необходимо для достижения оптимальных характеристик диаграммы направленности.

Целью данного этапа НИР в семестре является:

1. Подготовка публикации, выступление на конференциях
2. Участие в студенческих научно-практических конференциях

## **Подготовка публикации и участие в студенческих конференциях**

В результате научно-исследовательской работы в семестре была подготовлены статьи: «Сравнительный анализ крупногабаритных трансформируемых антенн» и «Large-size Transformable Antennas», а так же тезисы к статье «Сравнительный анализ крупногабаритных трансформируемых антенн».

В результате, в апреле 2018 года был выпущен сборник тезисов к статьям конференции «Молодежь. Техника. Космос»

19.04.2018г. приняла участие в конференции «Молодежь. Техника. Космос. 18.05.2018г. – 19.05.2018г. приняла участие в конференциях «Диалог Культур» и «Мой Мир». По результатам конференции были получены сертификаты участника (Приложения А)

В июне – августе 2018 года будут выпущены сборники статей РИНЦ.

В Приложениях Б и В представлен текст статей.

## **Заключение**

В результате научно-исследовательской работы в семестре были выполнены задачи:

1. Подготовлены статьи к публикации.
2. Участие в конференциях: «Молодежь. Техника. Космос.», «Диалог Культур» и «Мой Мир».
3. Опубликовано сборник тезисов «Молодежь. Техника. Космос.».

## Список использованных источников

1. Shintate K. et al. Large Deployable Reflector (LDR). Journal of the National Institute of Information and Communications Technology, 2003, vol. 50, no. 3/4.
2. Бахрах Л.Д. Проблемы антенной техники / Л.Д. Бахрах, Н.А. Бей, Д.И. Воскресенский. М.: Радио и связь, 1989.
3. Гряник М.В., Развертываемые зеркальные антенны зонтичного типа : учеб. пособие / М.В. Гряник, В.И. Ломан.– Москва : Радио и связь, 1987.
4. Зимин В.Н., Бей Н.А. Трансформируемые антенны больших размеров для геостационарных космических аппаратов. Антенны, 2005, вып. 10.
5. Зимин В.Н., Колосков И.М., Мешковский В.Е., Таирова Л.П., Чурилин С.А.. Экспериментальные исследования элементов космических конструкций. Инженерный журнал: наука и инновации, 2013, вып. 3. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/617.html>
6. Лопатин А.В. Обзор конструкций современных трансформируемых космических антенн, ч. 2. Вестник СибГАУ, 2007, № 3.
7. Митрохин В.Н., Можаров Э.О. Радиоголографический метод контроля профиля параболических зеркальных антенн по электромагнитному полю в ближней зоне // Вестник МГТУ им.Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение. 2015. № 4.
8. Ротхаммель К. Антенны. М.: ДМК пресс., В 2 т., Т. 1, 2013.
9. Ротхаммель К. Антенны. М.: ДМК пресс., В 2 т., Т. 2, 2013.
10. Сгадова Н.А., Венценосцев Д.Л. Аппроксимация деформированной поверхности рефлектора крупноапертурных параболических антенн //Радиотехника (Журнал в журнале). 2009, №4.
11. Сгадова Н.А., Струлев И.М.. Анализ формы отражающей поверхности параболической антенны деформированной под действием

весовой нагрузки. Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 38, УДК 621.396.67, [www.mai.ru/science/trudy/](http://www.mai.ru/science/trudy/)

12. Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров Д.В., Широкова Т.А. Наземное лазерное сканирование: монография - Новосибирск: СГГА, 2009

13. Широкова Т.А. Перспективы развития и внедрения трехмерных ГИС/Т.А. Широкова, Д.В. Комиссаров // ГЕО-СИБИРЬ-2006. - Новосибирск: СГГА, 2006.

14. Пат. № 2214659 С2 Российская Федерация Развертываемый крупногабаритный космический рефлектор. Кравченко Ю.Д., Корнеев В.Ю., Федосеев А.И., заявитель и патентообладатель ЗАО «НПО ЭГС», № 2001124507/28; заявл. 05.09.2001, опубл. 20.10.2003.

15. Пат. 2350519 Российская Федерация, МПК В 64 G 1/22, Н 01 Q 15/16. Развертываемый крупногабаритный рефлектор космического рефлектора / Н.А. Тестоедов, В.И. Халиманович и др.; заявитель и патентообладатель АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева. № 2007122219/11. заявл. 13.06.2007;опубл. 27.03.2009, Бюл. № 9.

16. Отчет о ПНИЭР «Создание высокоэффективной системы беспроводной узконаправленной передачи энергии и информации для управления состоянием объектов космического базирования на основе лазерных и волоконно-оптических технологий» / Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0201 от 27.10.2015 г., Этап 2. / СПб, БГТУ, 2015г.



## Приложение А



### Статья «Сравнительный анализ крупногабаритных трансформируемых антенн»

УДК 520.272.22

#### Сравнительный анализ крупногабаритных трансформируемых антенн

Ю. И. Гаврилова

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова*

Существенная составляющая работ в аэрокосмической технике непосредственно связана с созданием систем глобальной связи. В результате недавнего освоения дециметровых и сантиметровых волн возникла необходимость в создании больших космических антенн, диаметр которых достигает 100 метров и больше. А с ростом мощности все более актуальным становится вопрос о создании крупногабаритных трансформируемых антенн, что представляет большой интерес во многих странах.

Первые разработки таких антенн начались в восьмидесятых годах 20 столетия. За это время было предложено множество различных конструкций. Все предложенные конструкции можно разделить на несколько видов, отличающихся типом образования формы отражающей поверхности. А именно:

1. Надувные. В собранном состоянии он обладает небольшими размером и массой. Для его изготовления используют гибкие материалы, сворачивающиеся перед запуском и раскрывающиеся посредством надувания. Надувной рефлектор можно представить как подушку параболической формы, у которой передняя поверхность прозрачная, а тыльная - отражающая. По краю антенны расположен надувной торус. Для обеспечения большей жесткости конструкции, материал пропитывают канифолью, которая постепенно затвердевает при достижении высоких температур или облучении его ультрафиолетом. Поэтому необходимо, чтобы рефлектор на орбите был обращен к солнцу. Процесс затвердевания канифоли происходит на протяжении 6 часов. После отвержения он наполняется газом. На рисунке 1 показан пример антенны с надувным рефлектором.

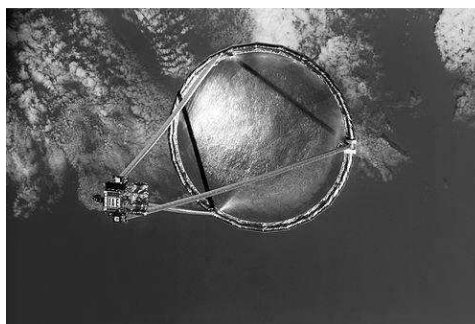


Рисунок 1 – Антенна с надувным рефлектором

Основной недостаток таких антенн - сложность получения высокой точности формы отражающей поверхности. Достоинством является простота конструкции и высокая степень надежности раскрытия.

2. Вантовые (ободные). Такие рефлекторы используют в своей конструкции складной периферийный кольцевой жесткий обод. Отражающая поверхность крепится на конструкцию, состоящую из вант – тросовых растяжек, или листовых профилей, которые крепятся в центре и на ободе. При раскрытии рефлектора ванты натягиваются.

Жесткоободные вантовые рефлекторы можно разделить на группы:

- с радиально-кольцевой структурой;
- с треугольной структурой.

Примеры таких структур показаны на рисунке 2.

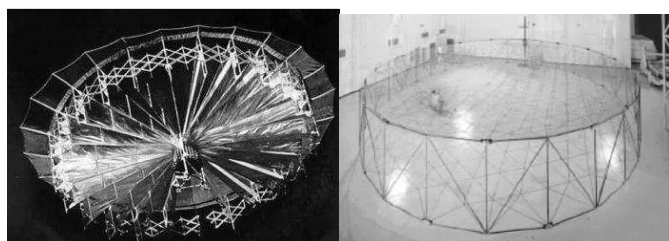


Рисунок 2 – Вантовый жесткоободный рефлектор (Слева: с радиально-кольцевой структурой, справа: с треугольной структурой)

Основной недостаток вантовых рефлекторов – это расположение устройств антенны на ободе, что может привести к его неустойчивости. Достоинством таких конструкций является их простота в проектировании.

3. Зонтичные. Конструкция зонтичных рефлекторов содержит жесткую центральную часть, к которой крепятся система радиальных ребер. На ребрах располагается сетчатая поверхность, образующая отражающую поверхность. В зависимости от типа ребер, зонтичные рефлекторы можно разделить на:

- Рефлекторы с жесткими шарнирно складывающимися ребрами;
- Рефлекторы с гибкими деформируемыми ребрами.

Формообразующая структура у рефлекторов зонтичного типа может быть как радиально-кольцевая, так и треугольная. Ребра зонтичного рефлектора могут быть выполнены в виде параболических трубчатых спиц из углепластика, которые крепятся в центре. Между ними закреплена отражающая сетка. Примеры зонтичного рефлектора показаны на рисунке 3.

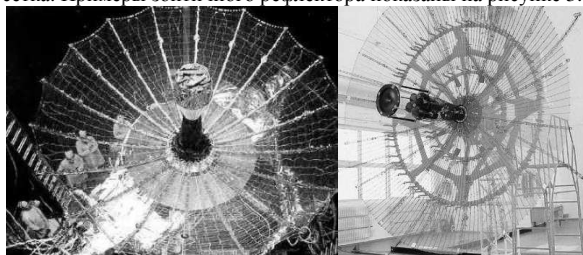


Рисунок 3 – Зонтичный рефлектор (Слева: с жесткими ребрами и радиальнокольцевой структурой, справа: с гибкими ребрами)

Особенностью такой конструкции является высокая скорость раскрытия антенны на орбите за счет разрыва сдерживающего троса. А так как присутствует возможность вращения спиц на вертикальных шарнирных осях, рефлектор можно свернуть на орбите с помощью реверсирования привода.

4. Ферменные. Такие рефлекторы состоят из трехмерного пространственного каркаса и прикрепленной к ней отражающей поверхности. Опорой в конструкции являются базовые структурные элементы, выполненные в форме тетраэдров. Благодаря этому достигается необходимая жесткость каркаса в раскрытом состоянии, но при этом габариты в сложенном состоянии достаточно малы. Обе поверхности оболочки образуются складывающимися стержнями. К вогнутой поверхности крепится сетка, она и является отражающей. Подобный каркас, состоящий из жестких стержней, является максимально устойчивым. Пример такой конструкции показан на рисунке 4.

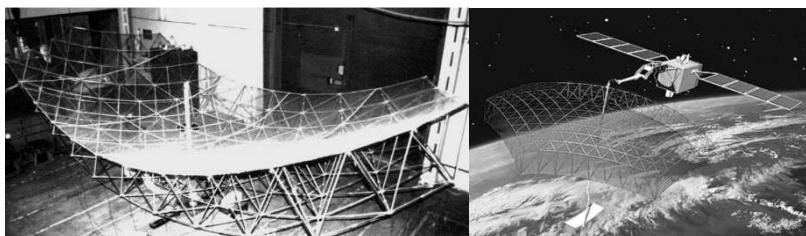


Рисунок 4 – Рефлектор ферменного типа

Достоинства и недостатки рефлекторов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки рефлекторов

Вид рефлектора	Достоинства	Недостатки
Надувные	Простота конструкции; высокая степень надежности раскрытия	Сложность получения высокой точности отражающей поверхности
Вантовые	Простота в проектировании	Расположение устройств антенны на ободу; неустойчивость
Зонтичные	Высокая скорость раскрытия; возможность свернуть рефлектор на орбите	Необходимость увеличения количества спиц при увеличении размеров
Ферменные	Устойчивость; высокий коэффициент укладки; малый объем и масса	Сложность изготовления и юстировки; большое количество подвижных частей

Несмотря на вид отражающей поверхности, особенностью всех рассмотренных антенн является необходимость управления их формой во время подготовки к работе и во время их функционирования.

## Статья « Large-size Transformable Antennas»

### Large-size Transformable Antennas

The article is devoted to the types of reflectors of large-size transformable antennas. In the article different types of the forming surface of reflectors are analyzed. The main attention is paid to their design, the advantages and disadvantages.

**Key words:** reflector, large-size transformable antennas, inflatable reflector, cable-stayed reflector, umbrella reflector, truss reflector.

An essential component of work in aerospace engineering is directly related to the creation of the global communication systems (GCS). As a result of the recent development of decimeter and centimeter waves, it became necessary to create large space antennas, the diameters of which reaches 100 meters and more. With the growing of power, the issue of creating large-size transformable antennas is becoming more urgent, that is of great interest in many countries. [1]

The first development of such antennas began in the 80s of the 20th century. Since then many different constructions have been proposed. [2] They can be divided into several types, differing in the type of formation of the shape of the reflecting surface. All of these antennas have two states: folded and unfolded. In the folded state they are sent into the orbit where they are unfolded before functioning.

1. **Inflatable reflector.** Being folded up it has a small size and mass. For its production, flexible materials are used, folding before launch and opening by inflation. The inflatable reflector can be imagined of as a cushion of paraboloid shape, in which the front surface is transparent, and the rear surface is reflective. On the edge of the antenna there is an inflatable torus. To ensure greater rigidity of the reflector, the material is impregnated with rosin, which gradually hardens when reaching high temperatures or irradiating it with ultraviolet. Therefore, it is necessary the reflector in orbit be facing the sun. The process of solidification of rosin occurs for 6 hours. After rejection, it is filled with gas. The main disadvantage of such antennas is the complexity of obtaining a high accuracy of the shape of the reflecting surface. The advantage is the simplicity of construction and the high degree of reliability of the opening.

2. **Cable-stayed (rim) reflector.** A collapsible peripheral annular rigid rim serves as a skeleton for these reflectors. The reflective surface is attached to a structure consisting of Cable-stayed stretch marks, or sheet profiles, which are fixed in the center and on the rim. When the reflector is opened, the Cable-stayed are stretched. Cable-stayed reflectors with hard rim can be divided into groups:

- with radial-ring structure;
- with a triangular structure.

The main disadvantage of such reflectors is the location of the antenna devices on the rim, which can lead to its instability. The advantage is the simplicity of construction.

3. **Umbrella reflector.** Umbrella reflectors contain a rigid central part, which the system of radial ribs is attached to. On the ribs there is a network-band, which forms a reflecting surface [3]. Depending on the type of ribs, umbrella reflectors can be divided into:

- Reflectors with rigid hinge folding fins;
- Reflectors with flexible deformable ribs.

Form-forming structure of umbrella reflectors can be either radial-circular or triangular. The ribs of the umbrella reflector can be made in the form of parabolic tubular spokes. Which are made of Carbon fiber reinforced polymer (CFRP material). They are attached in the center. The reflective grid is fixed between them. The special feature of this model is the high speed of antenna deployment in the orbit due to the breaking of the restraining cable. There is the possibility of rotating the spokes on the vertical hinge axes. The reflector can be folded up in the orbit by reversing the drive.

4. **Truss reflectors.** Such reflectors consist of a three-dimensional spatial framework and a reflective surface attached to it. The support in the construction is the basic structural elements, made in the form of tetrahedral. Due to this, in the opened state the required rigidity of the carcass is achieved, but the dimensions in the folded state are small enough. Both surfaces of the shell are formed by folding rods. A grid is attached to the concave surface. It is reflective. Such structures, consisting of rigid rods, are maximally stable. [5]

5. Advantages and disadvantages of reflectors are given in Table 1.

Table 1 - Advantages and disadvantages of reflectors

Reflector type	Advantages	Disadvantages
<b>Inflatable</b>	Simplicity of construction; high degree of reliability of disclosure	The complexity of obtaining a high accuracy of the reflecting surface
<b>Cable-stayed</b>	Simplicity in designing	Arrangement of antenna devices on the rim; instability
<b>Umbrella</b>	High speed of opening; possibility of turning the reflector into orbit	The need to increase the number of spokes as the size increases
<b>Truss</b>	Stability; high stowage ratio; small volume and mass	Complexity of production and leveling; a large number of moving parts

The main feature of all the present antennas is the necessity to control the shape of their reflecting surface during preparation for work and during their operation.