

АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ,  
ПЛАНЕТ И ДРУГИХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.  
ГЕОЭКОЛОГИЯ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПОИСКА И СПАСАНИЯ

УДК 621.396.67

**Радиолокационные антенные системы  
дистанционного зондирования Земли  
для малых космических аппаратов**

**А. С. Чеботарев<sup>1</sup>, В. А. Пантелеев, Н. М. Фейзулла, Е. М. Митрофанов, А. Н. Пластик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>д. т. н., <sup>2</sup>к. т. н.,

АО «Особое конструкторское бюро Московского энергетического института» (АО «ОКБ МЭИ»)

*e-mail: secretary@okbmei.ru*

**Аннотация.** Описаны принципы построения антенных систем (АС) радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА) для систем дистанционного зондирования Земли, размещаемых на малых космических аппаратах (МКА) и создаваемых на основе раскрывающихся зеркальных антенн ферменной конструкции, разрабатываемых в ОАО «ОКБ МЭИ». Основой рефлекторов является жесткий ферменный каркас, к которому крепится металлическое сетеполотно, играющее роль радиоотражающей поверхности. Возможность электронного переключения луча АС с малым шагом для режима ScanSAR реализуется благодаря использованию сложных облучателей, состоящих из решетки излучателей, СВЧ-переключателей и делителей мощности. Рассмотрены разработанные трансформируемые зеркальные системы для работы в составе РСА S-диапазона, размещаемые на отечественном и китайском МКА.

**Ключевые слова:** зеркальная антенна, малый космический аппарат, дистанционное зондирование Земли, радиолокатор с синтезированной апертурой

**Earth Remote Sensing Radiolocating Antenna Systems  
Mounted on a Small Spacecraft**

**A. S. Chebotarev<sup>1</sup>, V. A. Panteleev, N. M. Feyzulla, E. M. Mitrofanov, A. N. Plastik<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>doctor of engineering science, <sup>2</sup>candidate of engineering science,

JSC "Special Research Bureau of Moscow Power Engineering Institute" (JSC "OKB MEI")

*e-mail: secretary@okbmei.ru*

**Abstract.** The paper describes the principles of constructing antenna systems for Earth remote sensing synthetic aperture radar (SAR) systems mounted on the small spacecrafts and based on the truss-type deployable reflector antennas developed by JSC "OKB MEI". The basis of reflectors is a rigid truss framework. Metallic mesh grid playing the role of reflecting surface is attached to this framework. The possibility of providing electronic beam scanning with a small step for ScanSAR mode is realized by the usage of complex feed, consisting of an array of antennas, microwave switches and power divider. Two S-band SAR deployable reflector systems designed for Russian and Chinese small spacecrafts are presented.

**Key words:** reflector antenna, small spacecraft, Earth remote sensing, synthetic aperture radar

## I. Введение

При создании радиолокационных антенных систем (АС) дистанционного зондирования Земли для малых космических аппаратов (МКА) важными параметрами антенн являются минимально возможные габариты и масса в транспортном положении при условии обеспечения системно требуемых радиотехнических характеристик: наличия нескольких переключаемых лучей в диаграмме направленности, имеющих заданные значения их угловой ширины и угловых расстояний между соседними лучами. Для построения таких АС крайне актуально использование зеркальных антенн, меняющих свои габаритные размеры и форму при переводе из транспортируемого состояния в рабочее [1].

В докладе описаны принципы создания АС радиолокаторов с синтезированной апертурой (РСА), размещаемых на МКА и создаваемых на основе раскрывающихся зеркальных антенн ферменной конструкции, разрабатываемых в ОАО «ОКБ МЭИ». Рассмотрены две трансформируемые зеркальные системы для работы в составе РСА S-диапазона, размещаемых на отечественном и китайском МКА. Благодаря использованию сложных облучателей, в них реализован режим обзорного наблюдения ScanSAR с электронным сканированием лучом антенны с малым дискретным шагом.

## II. Основная часть

Основа складных раскрывающихся рефлекторов — жесткий ферменный каркас, к которому крепится металлическое сетеполотно, играющее роль радиоотражающей поверхности. На рис. 1 представлен фрагмент антенны.

Конструкцию каркаса составляют шарнирно соединенные складывающиеся стержни 3 и диагональные стержни 4. Стержни ферменной структуры сходятся в узловых шарнирных соединениях 1, которые расположены на двух криволинейных поверхностях. В каждом таком узлом соединении сходятся по три диагональных стержня, обеспечивающих связь узловых точек вогнутой (рабочей стороны, на которой закрепляется сетеполотно), и выпуклой (тыльной стороны) поверхностей

каркаса, а также по шесть складывающихся стержней, которые образуют пояса поверхностей каркаса. Складывающиеся стержни имеют в середине шарниры с пружинами 2.

При складывании зеркала складывающиеся стержни располагаются между диагональными стержнями, радиоотражающая поверхность также убирается внутрь каркаса. Развертывание антенны происходит автоматически за счет энергии, запасенной в пружинах шарниров при складывании.

ОКБ МЭИ начиная с 1972 г. вложило значительные материальные средства и интеллектуальный потенциал в разработку антенн описанной ферменной конструкции. В процессе выполнения НИР и ОКР были разработаны и испытаны несколько образцов антенн. Впервые антенны концепции ОКБ МЭИ прошли успешные летные космические испытания в составе радиолокационных систем с синтезированной апертурой в 1985 г. на космическом аппарате «Космос-1689» и в 1996 г. на модуле «Природа» пилотируемого космического комплекса «Мир».

Общая задача оптимального проектирования зеркальной антенны для обзорного режима работы РСА заключается в разделении задачи наведения лучей при обзоре на медленную составляющую общего перенацеливания, где возможно наведение электромеханическим приводом, и быструю составляющую, реализуемую с помощью облучающего устройства. Требуемая ширина зоны наблюдения в азимутальной плоскости реализуется путем электронного переключения луча АС с малым шагом, для чего разрабатываются сложные облучатели, состоящие из решетки излучателей, СВЧ-переключателей и делителя мощности (рис. 2). Наличие нескольких узких парциальных лучей обеспечивается перемещением группы активных излучателей (кластера) по всей апертуре облучателя.

На основе описанной апробированной технологии построения ферменных антенн проведена разработка трансформируемой зеркальной системы с многолучевым облучателем S-диапазона для бортового метеорологического радиолокатора Академии наук КНР (рис. 3). Рефлектор антенны имеет размеры 6 м × 2,8 м. В рамках этого международного проекта были обоснованы техниче-

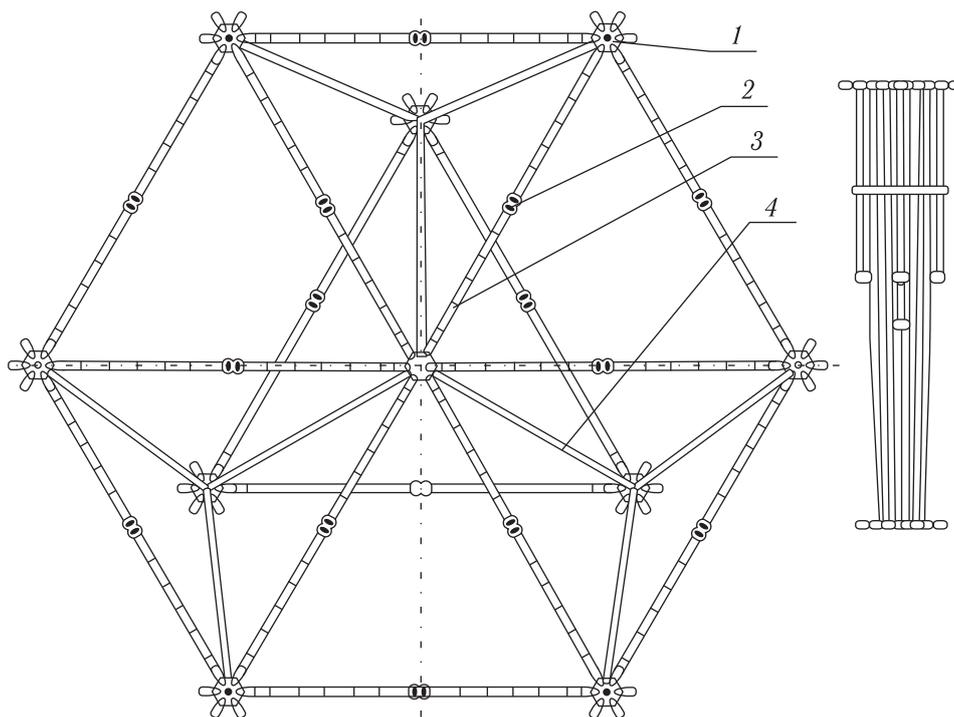


Рис. 1. Фрагмент конструкции фермы рефлектора в развернутом (слева) и сложенном (справа) видах

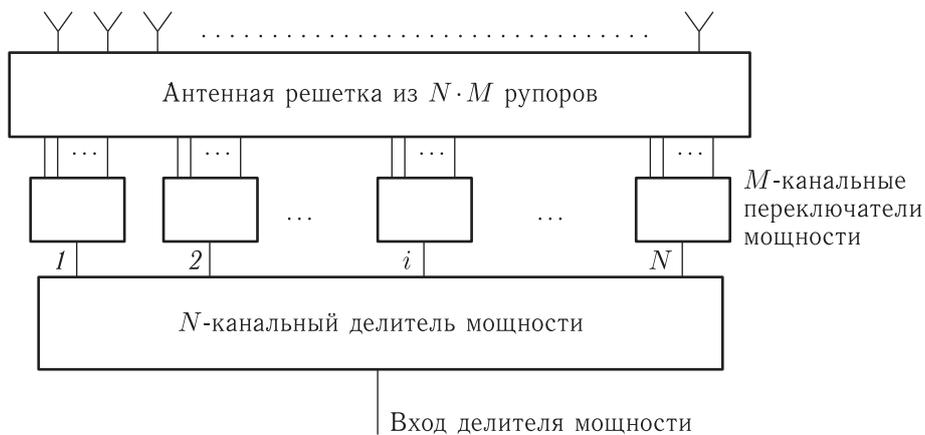


Рис. 2. Схема построения облучателя

ские требования и возможность реализации проекта РСА на малом китайском космическом аппарате. АС поставлялась заказчику в полном составе, содержащем самораскрывающийся рефлектор с замками и устройством расчеховки, многолучевой облучатель с блоком управления переключателем лучей, механизм поворота с блоком управления механизмом поворота, волноводный тракт с вращающимися переходами и с устройством разделения канала

лов приема-передачи. АС в полном составе с дополнительными устройствами, необходимыми для монтажа на МКА и повышения вибрационной жесткости, имеет массу 110 кг.

Характерной особенностью характеристик излучения подобных зеркальных антенн с треугольно-фасетной аппроксимацией радиоотражающей поверхности является наличие в определенных сечениях диаграммы направленности ряда боковых

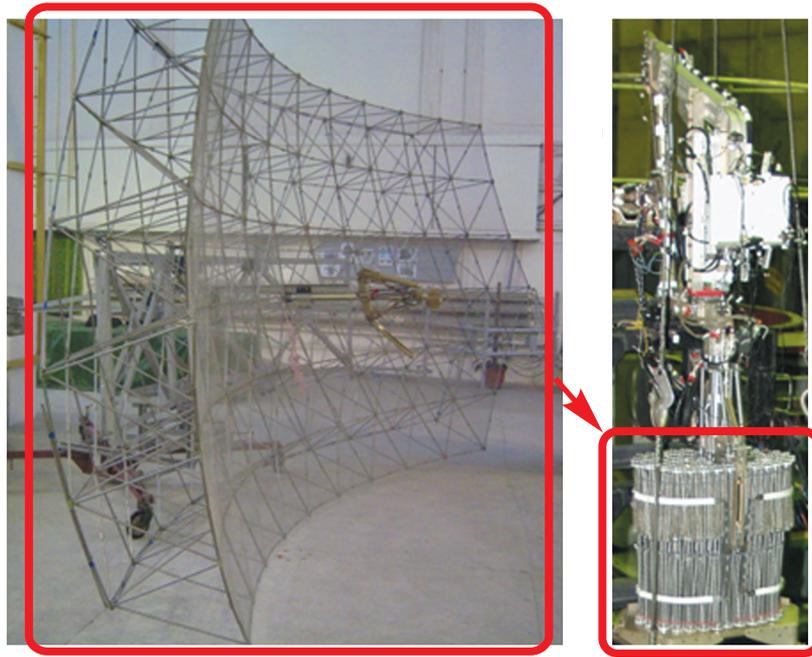


Рис. 3. Антенна для радиолокатора КНР в раскрытом (слева) и сложенном (справа) состояниях

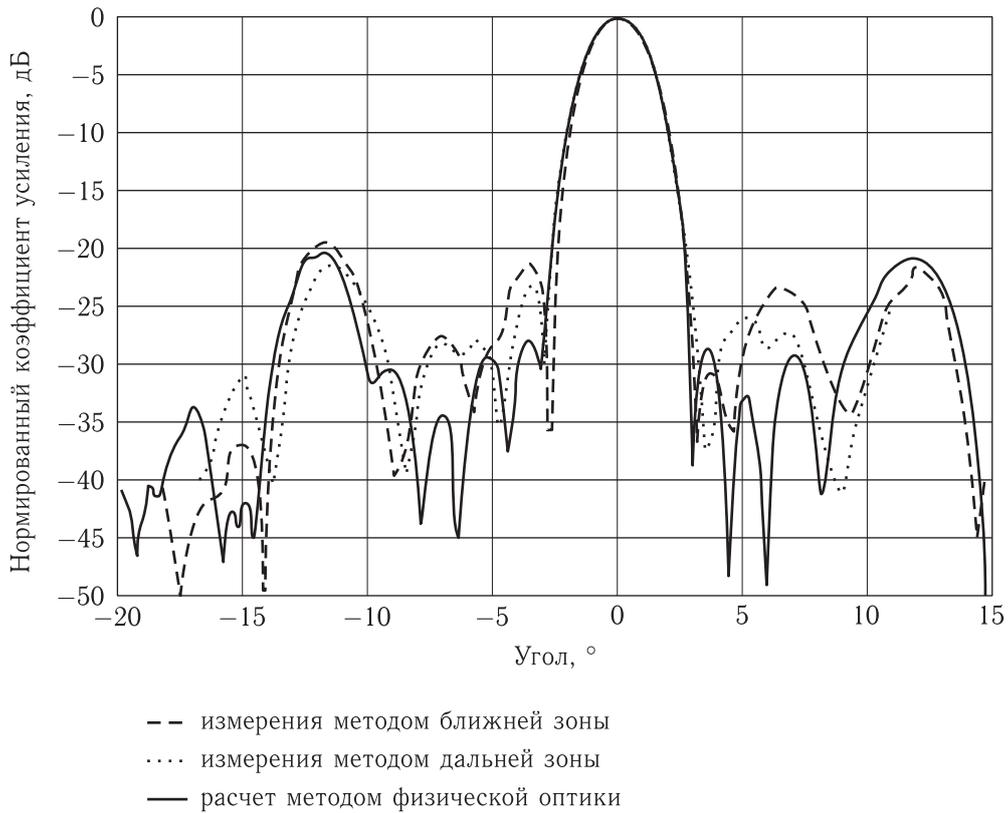


Рис. 4. Сопоставление результатов расчета и измерений диаграммы направленности антенной системы радиолокатора КНР для одного из лучей

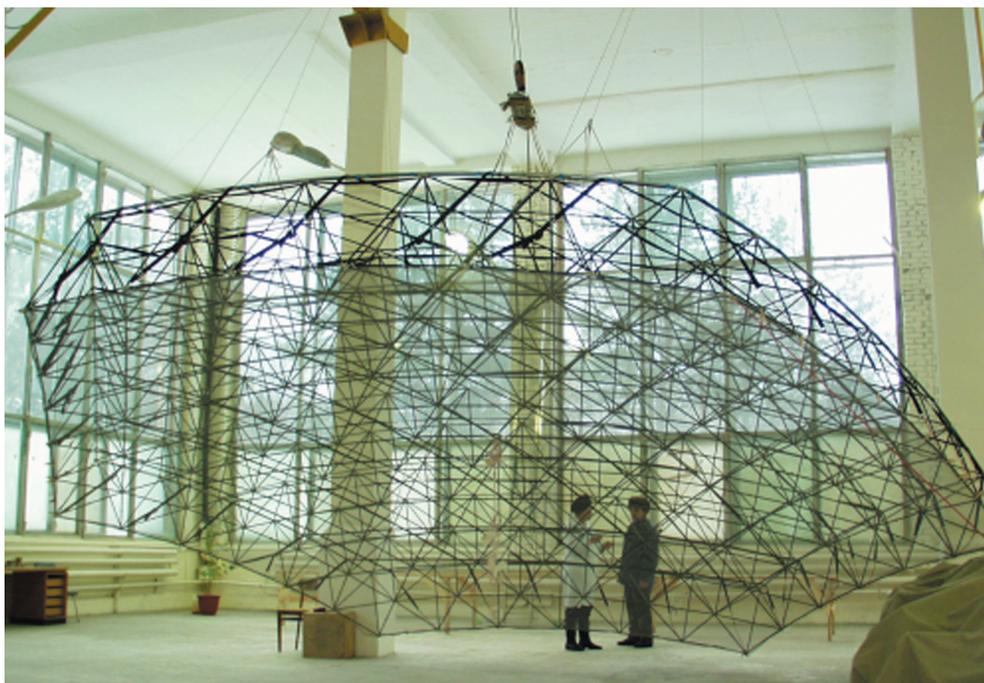


Рис. 5. 7-метровый рефлектор для МКА «Кондор»

лепестков, подобных главному и превышающих уровни соседних апертурных боковых лепестков. Возникновение подобных лепестков связано с наличием в раскрыве квазипериодических фазовых ошибок и должно контролироваться, в т. ч. на этапе проектирования. Для антенны для радиолокатора КНР уровень наибольшего такого лепестка составляет около  $-20$  дБ (рис. 4).

Также разработана раскрывающаяся зеркальная АС с многолучевым облучателем S-диапазона для отечественной радиолокационной системы с синтезированной апертурой «Кондор», запущенной на орбиту в 2013 г. Рефлектор антенны (рис. 5) имеет размеры апертуры  $6 \text{ м} \times 7 \text{ м}$ . Каркас рефлектора выполнен из углепластиковых стержней, что позволило снизить массу самого зеркала и всей АС в целом. Общая масса рефлектора с устройствами удержания и всеми конструктивными элементами не превышает 50 кг. Среднеквадратическое отклонение радиоотражающей поверхности рефлектора от идеального параболоида вращения составляет около 3 мм

### III. Заключение

Используемая концепция создания складных раскрывающихся АС ферменной конструкции позволяет разрабатывать трансформируемые зеркальные антенны с большим коэффициентом укладки и малой массой для РСА, размещаемых на МКА. Режим сканирования ScanSAR обеспечивается за счет использования сложного облучателя. Точность поверхности разрабатываемых рефлекторов позволяет эффективно работать на частотах вплоть до 5 ГГц–6 ГГц. Для обеспечения возможности работы на более высоких частотах (повышения точности радиоотражающей поверхности) применяют дополнительное усложнение ферменной конструкции.

### Список литературы

1. Космическая складная антенна / А. Ф. Богомолов, Н. В. Букарев, Г. Н. Важенцев, Ю. А. Кирсанов, И. Ф. Соколов, Н. М. Фейзулла. — В кн.: Антенны / Под ред. А. А. Пистолькорса. Вып. 29. М.: Радио и связь, 1981, с. 10–20.