

## **Компактная АФАР X-диапазона для малых космических аппаратов**

М.В. Терентьев, Н.П. Чубинский

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Современные тенденции развития науки и техники ведут к тому, что массы и размеры служебных и целевых систем космических аппаратов становятся всё меньше. Во многих случаях задачи, решаемые многотонными спутниками, могут быть эффективней выполнены с использованием группировки малых космических аппаратов (МКА). Среди неоспоримых преимуществ применения группировки МКА, таких как уменьшение рисков, связанных с их запуском и работой в космосе, повышенная живучесть, следует подчеркнуть особенно важную для некоторого класса задач высокую оперативность, неотъемлемой частью которой является система связи, удовлетворяющая большому набору требований.

Настоящая работа посвящена теоретической проработке вопросов построения приёмопередающей высокоскоростной системы связи по каналам МКА – наземный контур управления (НКУ) и МКА – МКА для группировки спутников оперативного наблюдения локального региона с высоким разрешением. В ней требуется решить следующие задачи.

1. Выбор частотного диапазона антенны с учётом ограничений на размеры и энергоресурсы МКА.
2. Обоснование возможности создания компактной приемо-передающей антенны для высокоскоростной линии связи орбитальной группировки МКА, производящей высокочастотный мониторинг локального региона земной поверхности.
3. Разработка модели АФАР для решения поставленной задачи. Оценка параметров АФАР, таких как множитель диаграммы направленности решётки и область сканирования пространства.

С учетом известных технических решений [1], [2] выполнение указанных требований было разбито на три части.

1. Моделированы баллистические задачи, в результате которого получены параметры орбит группировки МКА при заданных высотах, выбраны оптимальные координаты расположения станций НКУ, определены трассы распространения сигнала [3], и описана логика функционирования группировки.
2. Выполнен расчёт энергетике спутниковой радиолинии для каналов связи МКА – НКУ и МКА – МКА, в ходе которого проведена оценка потерь сигнала при распространении по трассам [3]. При этом использованы результаты баллистического

расчёта, рекомендации международного союза электросвязи (МСЭ), долгосрочные статистические данные о гидрометеорах и состоянии ионосферы в зонах покрытия земных станций, топографические карты [4]. На основании этих данных получена оценка минимального значения коэффициента усиления бортовой АФАР, необходимого для обеспечения качественной связи. С использованием модели NeQuick2 [4] подробно исследован вопрос об ограничении полосы частот радиоканала, обусловленном свойствами ионосферы [3], даны рекомендации по выбору времени сеансов связи МКА – НКУ для достижения максимальной скорости передачи данных.

3. Проведено моделирование АФАР, в ходе которого предложена модель решётки, расположенной на трёх гранях правильной треугольной пирамиды, с ребром не более полуметра. Получен в общем виде множитель решётки диаграммы направленности в дальней зоне [5], [6], для проведения оценок параметров которого были выбраны шаг решётки и количество элементов. Рассчитаны матрицы фаз возбуждения элементов [5], [6] для управления направлением главного лепестка диаграммы направленности в заданном диапазоне углов. Для полученной при расчёте энергетике радиолинии оценки минимального коэффициента усиления АФАР были определены границы области сканирования АФАР, достигающие приблизительно  $130^\circ$  по угломестной координате.

Полученные в работе результаты подтверждают реализуемость предложенного проекта, удовлетворяющего жестким массово-габаритным ограничениям, и позволяющего рационально использовать энергетические ресурсы МКА.

#### Литература

1. Шаханов А.Е., Рученков В.А., Круть А.В. Коммутируемые антенные системы X-диапазона для применения на борту космического аппарата – Труды МАИ – 2013. №68. С. 34-50.
2. High gain X-band Antenna Pointing Mechanism (Surrey Satellite Technology Ltd.): <http://www.sstl.co.uk/Products/Subsystems/Communication/Antennas/High-Gain-X-Band-Antenna-Pointing-Mechanism>
3. Бартнев В.А., Болотов Г.В., Быков В.Л. и др., под ред. Кантора Л.Я. Спутниковая связь и вещание: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1997 – 528 с.
4. Рекомендации сектора радиосвязи МСЭ: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P/en>.
5. Вендик О.Г., Парнес М.Д., под ред. Бахраха Л.Д. Антенны с электрическим сканированием. – СПб: ISBN, 2001 – 250 с.
6. Братчиков А.Н. [и др.], под ред. Воскресенского Д.И. и Канащенкова А.И. Активные фазированные антенные решётки – М.: Радиотехника, 2004 – 487 с.