

В. А. Вечтомов, Л. И. Пономарёв,
А. С. Милосердов, Р. Х. Воронов

БОРТОВАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА ИЗ КРУПНОАПЕРТУРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С ГЛОБАЛЬНЫМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ С ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ОРБИТЫ

Рассмотрен вариант построения бортовой антенной решетки для космического аппарата на геостационарной орбите из крупноапертурных излучателей. Показаны ее преимущества по сравнению с традиционными гибридно-зеркальными многолучевыми антеннами. Приведен вариант выполнения антенной решетки из крупноапертурных излучателей.

E-mail: vechtomov@bmstu.ru

Ключевые слова: антенная решетка, геостационарная орбита, крупноапертурный излучатель, космический аппарат.

Технические характеристики бортовых антенных систем космических аппаратов (КА) полностью определяются задачами, стоящими перед системой спутниковой связи (ССС), выделяемыми под них ресурсами: масса, габариты, энергопотребление и энерговыделение.

Системы спутниковой связи Taicom-4 и Anik-F2 решают задачу расширения сферы услуг системы связи для индивидуальных потребителей и увеличение ее пропускной способности, используя многолучевые антенны в виде гибридно-зеркальных антенн [1].

Даже в случае создания региональной СССР (Anik-F2 обслуживает Северную Америку, Taicom-4 — Азиатско-Тихоокеанский регион) габариты и масса таких антенных систем оказываются значительными. Так, масса КА Anik-F2 составляет около 5 950 кг, а масса полезной нагрузки (ретранслятор) — 3 805 кг [2]. Taicom-4, один из самых тяжелых КА, базирующихся на геостационарной орбите (ГСО), имеет массу около 6 500 кг.

Кроме того, антенны СССР являются крупногабаритными [3] в силу специфики гибридно-зеркальных антенн и выполняются трансформируемыми для размещения под обтекателем ракеты-носителя (рис. 1).

В некоторых случаях требуется создание СССР с глобальной зоной обслуживания ($17,4^\circ \times 17,4^\circ$) с ГСО, например, для обеспечения связи с морскими и трансконтинентальными воздушными судами, осуществления мгновенной связи с любой точкой Земли, где произошла катастрофа или стихийное бедствие, координаты которой

априори неизвестны. Фактически, такая система имеет очень большое сходство с подвижной спутниковой связью (ПСС), способной обслуживать глобальную зону обзора ($17,4^\circ \times 17,4^\circ$) узконаправленным лучом ($1,0 \dots 2,0^\circ$) при малых потерях коэффициента усиления (КУ) на краях сектора обзора.

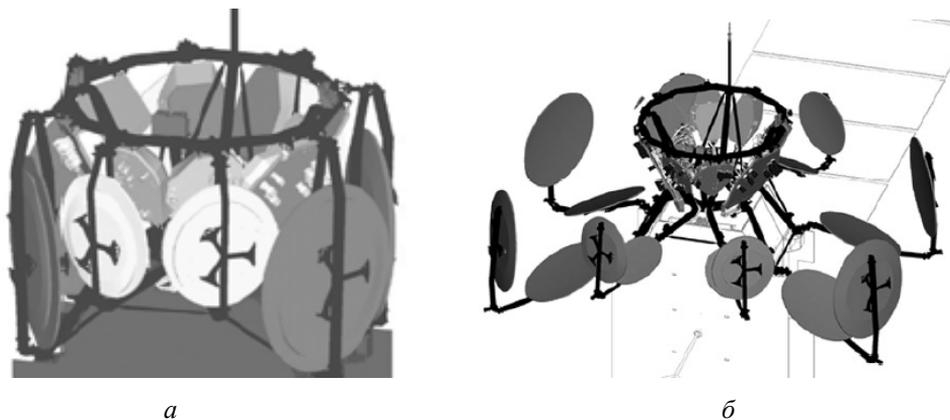


Рис. 1. Приемно-передающая антенная система RF компании TRW & Electronics: *а* — в транспортном положении; *б* — в рабочем положении

Широкоугольное электрическое сканирование обеспечивают антенны, построенные по принципу фазированных антенных решеток (ФАР). Однако ФАР для формирования узкого луча с высоким КУ требуют большого количества дорогостоящих излучателей и фазовращателей, управляемых делителей мощности и т. п., что увеличивает стоимость бортовой аппаратуры, ее сложность и массу. В то же время при базировании КА на ГСО сектор сканирования ФАР должен составлять не более $\pm 8,7^\circ$. В связи с этим применение ФАР оправдано только в случае их многоцелевого использования.

Поэтому построение бортовой антенны, сочетающей в себе малую стоимость, сравнительно небольшую массу и осесимметричное электрическое сканирование лучом в небольших пределах ($\pm 8,7^\circ$) является *актуальной* задачей.

Решением, близким к поставленной задаче является построение бортовой антенной решетки (АР) из крупноапертурных излучателей (КАИ), сочетающей в себе преимущества как ФАР, так и гибридно-зеркальных антенн (ГЗА) [4, 5].

В работе [4] рассмотрена оптимизация КАИ на основе ГЗА, позволяющего (КАИ) создать бортовую антенную решетку с характеристиками, близкими к оптимальным для обслуживания глобальной зоны обзора с ГСО.

Задачей оптимизации КАИ [4] являлась разработка отдельного излучателя бортовой АР, при котором обеспечивается минимальное ко-

личество излучателей в антенне при сохранении рельефа КУ на требуемом уровне в заданном секторе обзора. При этом излучатель должен быть конструктивно выполнен и многофункционален, например, по обеспечению оптимальной поляризации или возможности использования его в адаптивных антеннах. Диаграмма направленности (ДН) излучателя должна быть такой, чтобы подавлять все главные побочные максимумы АР из КАИ до 25...28 дБ. Пример оптимизированной ДН КАИ, полученной в работе [4], приведен на рис. 2.

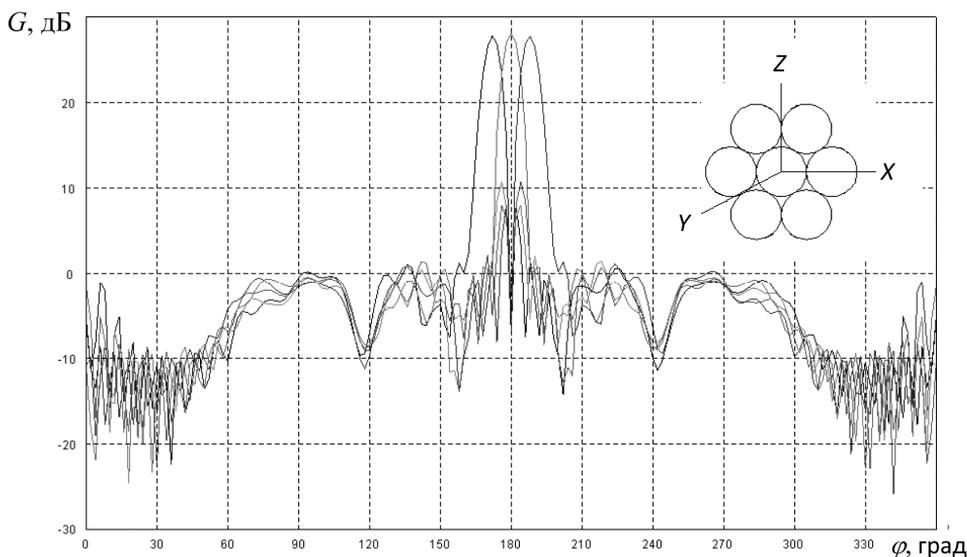


Рис. 2. Диаграмма направленности зеркального излучателя с облучателем

Ширина ДН по уровню половинной мощности, а следовательно, и КУ, в силу специфики построения АР из КАИ при заданных рабочей полосе и секторе сканирования, имеют ярко выраженный дискретный характер. Иллюстрацией этого служит таблица, в которой приведены соотношения между геометрическими параметрами и электрическими характеристиками АР с КАИ, содержащими семь излучателей для частоты X-диапазона.

Число КАИ	Диаметр антенны, см	КУ, дБ	Ширина ДН по уровню «-» 3 дБ
7	1163	36...34	2
19	1956	40...38	1,17
37	2709	43...41	0,84
61	3499	45...43	0,65
91	4251	47...45	0,54

Один из вариантов конструктивного исполнения бортовой антенной решетки из семи КАИ с семью облучателями приведен на рис. 3. Антенна представляет собой семь гибридно-линзовых антенн (ГЛА), каждая из которых формирует семь лучей, полностью перекрывающих требуемый сектор обзора $\pm 8,7^\circ$. В пределах каждого из этих лучей путем взаимной фазировки антенна может формировать узконаправленные лучи шириной 2° каждый. При изменении фазировки конфигурация узких лучей может перемещаться в пределах $17,4^\circ \times 17,4^\circ$ с минимальными потерями на краю зоны обслуживания (менее 2 дБ).

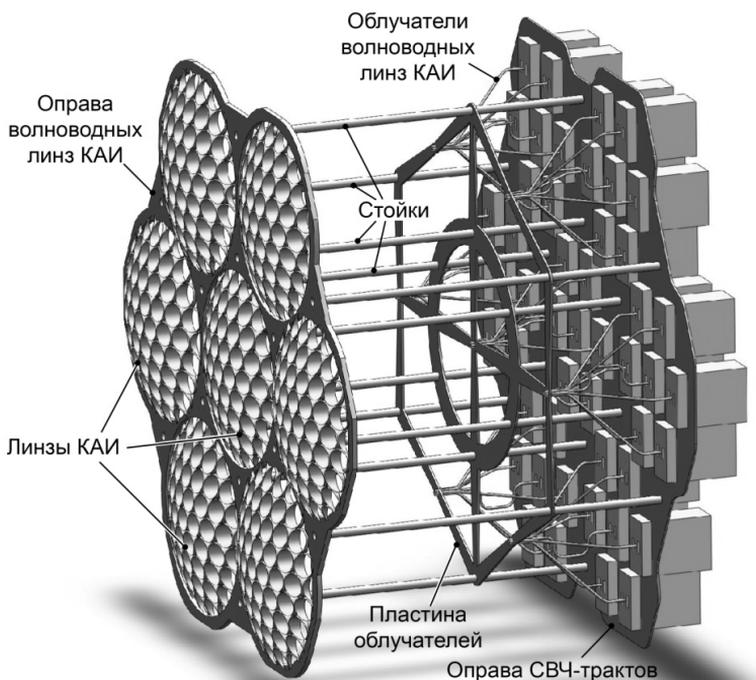


Рис. 3. АФАР на основе КАИ из гибридно-линзовых антенн

Наиболее эффективной может оказаться бортовая АР из оптимизированных КАИ при цифровом формировании ДН [6]. Ориентировочные проработки показывают возможность обеспечения такой антенной глобальной зоны обслуживания путем формирования нескольких десятков узких парциальных высокоэнергетических лучей шириной порядка 2° . Кроме того, возможна работа антенны в режиме расширенного луча $5,8^\circ$.

Важной особенностью конструкции бортовой АР из КАИ является ее существенно меньший продольный размер по сравнению с традиционными ГЛА и, особенно, зеркальными. Это позволяет отказаться от необходимости трансформирования ее в транспортное положение.

ние, что существенно упрощает конструкцию, повышает надежность и уменьшает вес полезной нагрузки КА.

Конструктивные элементы АР из КАИ (см. рис. 3) предлагается изготавливать из композитного материала на основе углепластика. Удельный вес такого композитного материала не превышает $1,6 \text{ г/см}^3$. При этом обеспечивается размеростабильность элементов конструкции в условиях ее эксплуатации, а также гарантируется необходимая прочность и жесткость элементов конструкции при отсутствии собственных частот колебаний в заданной рабочей полосе на этапе выведения ретранслятора в точку базирования.

Волноводные линзы АР из КАИ представляют собой совокупность тонкостенных цилиндрических волноводов толщиной $0,1 \text{ мм}$, которые могут быть выполнены из меди, латуни, алюминиевого сплава (АМг6 и Д16) или из титана.

Требование минимизации массы антенны предполагает выполнение волноводов из алюминиевого сплава. Проведенные расчеты волноводов на воздействие температур $\pm 130 \text{ }^\circ\text{C}$ показали, что предпочтительным является применение алюминиевого сплава Д16.

Таким образом, вариант построения бортовой антенны для КА на ГСО типа АФАР из КАИ имеет ряд преимуществ перед многолучевыми антеннами на основе ГЗА:

- возможность обеспечения глобальной зоны обзора одной антенной узким высокоэнергетическим лучом;
- существенное уменьшение числа излучателей по сравнению с традиционными АФАР;
- существенно меньший продольный размер по сравнению с обычными гибридно-зеркальными или линзовыми антеннами. Это позволяет отказаться от трансформирования ее в транспортное положение, что упрощает конструкцию АФАР, повышает ее надежность и уменьшает вес полезной нагрузки КА.

Все это подтверждает перспективность разработки многолучевой АР для ССС на основе КАИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бортовая многолучевая антенна космического ретранслятора / Н.А. Бей, В.А. Вечтомов, Е.Н. Гуркин и др. // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2009. – С. 8–17.
2. Симонов М. М. Спутники — новые возможности в Азии // Приложение к журналу «Технологии и средства связи». Спец. вып. – 2006. – № 5 (50). – С. 28–33.
3. Chandler C., Hoyer L., Nixon D., et al. Ka-band communications Satellite Antenna technology. // TRW Space & Electronics, One Space Park, Redondo Beach, California 90278, USA. email: chuck.Chandler@trw.com.

4. Пономарев Л. И., Вечтомов В. А., Милосердов А. С. Многолучевая антенная решетка для системы спутниковой связи // Антенны. – 2012. – Вып. 5 (180). – С. 52–63.
5. William C. Cummings. An Adaptive Nulling Antenna for Military Satellite Communications // The Lincoln Laboratory Journal. – 1992. – Vol. 5. – No. 2. – P. 173–193.
6. Кауфман Г. В., Синани А. И., Белый Ю. И. Особенности построения радиолокационных систем воздушного и наземного базирования на базе АФАР с цифровым диаграммообразованием // НТК : «Радиооптические технологии в приборостроении». 2–8 сентября, 2012 г., п. Небуг, Краснодарский край.

Статья поступила в редакцию 07.09.2012