

УДК 621.396.677 DOI 10.30894/issn2409-0239.2022.9.1.73.78

Приемо-передающий облучатель зеркальных антенн систем спутниковой связи

Д. Д. Габриэльян, *д. т. н., профессор, rniirs@rniirs.ru*

ФГУП «Ростовский-на-Дону НИИ радиосвязи», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

В. И. Демченко, *к. т. н., rniirs@rniirs.ru*

ФГУП «Ростовский-на-Дону НИИ радиосвязи», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

А. Е. Коровкин, *к. т. н., rniirs@rniirs.ru*

ФГУП «Ростовский-на-Дону НИИ радиосвязи», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

С. И. Бойчук, *rniirs@rniirs.ru*

ФГУП «Ростовский-на-Дону НИИ радиосвязи», Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Ю. И. Полтавец, *к. т. н., contact@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. Представлен подход к синтезу приемопередающего облучателя для осесимметричных двухзеркальных антенн, на основе апертурного разделения сигналов *C*- и *Ka*-диапазонов коаксиального и круглого волноводов с максимальным разнесением крайних диапазонов 10 : 1.

Проведена разработка и выбор конструкции коаксиального облучателя для построения облучающей системы приемо-передающей зеркальной антенны.

Определены и экспериментально подтверждены оптимальные параметры коаксиального облучателя, обеспечивающие уровень угла облучения контррефлектора 30 градусов и КСВН 1,25 по выходам *C*- и *Ka*-диапазонов в каналах приема и 1,15 и 1,3 в каналах передачи *C*- и *Ka*-диапазонов соответственно, с шириной полос $C_{пр}$ — 21%, $C_{пер}$ — 18,2%, $Ka_{пр}$ — 8,6%, $Ka_{пер}$ — 7,8%. Представлены результаты практической реализации.

Ключевые слова: приемо-передающий облучатель, коаксиальный рупорный облучатель, диаграмма направленности

Transceiving Feed of Reflector Antennas for Satellite Communication Systems

D. D. Gabriel'yan, *Dr. Sci. (Engineering), rniirs@rniirs.ru*

FSUE "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications", Rostov-on-Don, Russian Federation

V. I. Demchenko, *Cand. Sci. (Engineering), rniirs@rniirs.ru*

FSUE "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications", Rostov-on-Don, Russian Federation

A. E. Korovkin, *Cand. Sci. (Engineering), rniirs@rniirs.ru*

FSUE "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications", Rostov-on-Don, Russian Federation

S. I. Boychuk, *rniirs@rniirs.ru*

FSUE "Rostov-on-Don Research Institute of Radio Communications", Rostov-on-Don, Russian Federation

Yu. I. Poltavets, *Cand. Sci. (Engineering), contact@spacecorp.ru*

Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper presents an approach to the synthesis of a transceiving feed for axisymmetric double reflector antennas based on the aperture separation of *C*- and *Ka*-band signals of coaxial and circular waveguides with a maximum separation of the extreme bands of 10 : 1.

The development and selection of a coaxial feed design for constructing a feed system of the transceiving reflector antenna was carried out.

Optimal parameters of the coaxial feed were determined and experimentally proved to provide a feed angle level of the subreflector of 30° and a VSWR of 1.25 for the *C*- and *Ka*-band outputs in the receiving channels and 1.15 and 1.3 for the *C*- and *Ka*-band transmission channels, respectively, with the bandwidth of $C_{reception}$ — 21%, $C_{transmission}$ — 18.2%, $Ka_{reception}$ — 8.6%, $Ka_{transmission}$ — 7.8%. The results of practical implementation are presented.

Keywords: transceiving feed, coaxial horn feed, radiation pattern

Стремительно развивающийся рынок спутниковых информационных систем в *Ka*-диапазоне вынуждает искать новые способы усовершенствования и модернизации как новых, так и существующих зеркальных антенн. Создание приемо-передающих антенн, использующих *C*- и *Ka*-диапазоны частот, а также модернизация существующих приемо-передающих антенн *C*-диапазонов представляет особый интерес. Вследствие этого возникает потребность построения антенно-волноводного тракта с приемом и передачей сигналов круговых и линейных ортогональных поляризаций с максимально возможным разносом крайних частотных диапазонов. Существующие на рынке реализации различных конфигураций облучателей в полной мере не удовлетворяют потребностям в диапазонах частот и поляризации [1–8].

Целью работы является разработка приемо-передающего облучателя для двухзеркальной антенны, обеспечивающего прием и передачу *C*-, *Ka*-диапазонов с соотношением центральных частот 10 : 1 и шириной рабочей полосы частот $C_{\text{пр}} — 21\%$, $C_{\text{пер}} — 18,2\%$, $Ka_{\text{пр}} — 8,6\%$, $Ka_{\text{пер}} — 7,8\%$.

Решаемые задачи:

1. Анализ существующих реализаций совмещения центральных частот с требуемым соотношением центральных частот.
2. Разработка и выбор конструкции коаксиального облучателя для построения облучающей системы приемо-передающей зеркальной антенны.
3. Экспериментальное исследование характеристик облучателя в рабочих диапазонах частот.

Анализ существующих реализаций конструкции коаксиального облучателя

В настоящее время в существующих антенных системах ведущих производителей ранее не разрабатывался облучатель, обеспечивающий прием и передачу сигналов *C*-, *Ka*-диапазонов с соотношением рабочих частот 10 : 1 и шириной рабочей полосы частот $C_{\text{пр}} — 21\%$, $C_{\text{пер}} — 18,2\%$, $Ka_{\text{пр}} — 8,6\%$, $Ka_{\text{пер}} — 7,8\%$.

Использование гофрированного рупора в качестве облучателя для подобной задачи нецелесооб-

разно, так как входное сечение облучателя, обеспечивающего возбуждение основной моды нижнего диапазона и последующее формирование многомодового трансформатора, в котором могут существовать «быстрые волны», приводит к невозможности формирования требуемой диаграммы направленности в верхнем диапазоне частот [9, 10].

Вариант построения многорупорного облучателя также не обеспечивает выполнение требований к облучателю по причине того, что его конструкция:

- снижает эффективность облучения основного зеркала,
- имеет большие габаритные размеры.

Рассмотрим в качестве аналога коаксиальный облучатель *C/Ku*-диапазона, обеспечивающий прием сигналов круговой в *C*- и линейной поляризации в *Ku*-диапазонах с минимизацией потерь за счет использования волноводного отбора основного типа волны [1].

Облучатель представляет собой два круглых волновода, вложенных друг в друга, три диафрагмы, расположенные друг за другом внутри внешнего волновода, и две подстроечные канавки, обеспечивающие необходимый уровень облучения зеркала. Облучатель выполнен в едином корпусе с коаксиальным разветвителем *C/Ku*, роль фильтров выполняют окна отбора и сечение волноводного моста *C*-диапазона. Недостатком такого облучателя является работа только на прием сигнала. Кроме того, такой облучатель имеет максимальное значение КСВН 1,4 и 1,5 по выходам *C*- и *Ku*-диапазонов, уровень кроссполяризационной развязки составляет не менее минус 25 дБ.

Известен многодиапазонный рупор *C/Ku*-диапазона, используемый для формирования до 4 разнесенных рабочих диапазонов частот [10]. Использование его в составе с устройствами частотно-поляризационного разделения и суммирования сигналов позволяет добиться компоновки до 4 диапазонов частот [11].

Практическая реализация такого устройства показала результаты, полученные при многомодовом возбуждении рупорного излучателя, позволяющие получить значение КСВН не более 1,5 всех диапазонов частот. Недостатком такого облучателя является, как было сказано выше, невозможность

существования «быстрых волн» в едином рупоре в верхнем диапазоне частот.

Таким образом, известные аналоги не обеспечивают возможность построения приемно-передающего облучателя, обеспечивающего одновременный прием и передачу в *C*- и *Ka*-диапазонах.

Реализация коаксиального облучателя

В качестве облучателя двухзеркальной антенны целесообразно использовать коаксиальный рупор, обеспечивающий необходимый уровень облучения заданного контррефлектора, что позволяет достичь высоких показателей добротности, а также высоких кроссполяризационных характеристик [5].

Представленный коаксиальный рупорный облучатель состоит из рупорного облучателя с продольными гребнями и конического гребневого рупорного облучателя (рис. 1). Совмещенные рупорные облучатели предназначены для одновременного приема и передачи сигналов ортогональных круговых и линейных поляризаций *C/Ka*-диапазона частот.

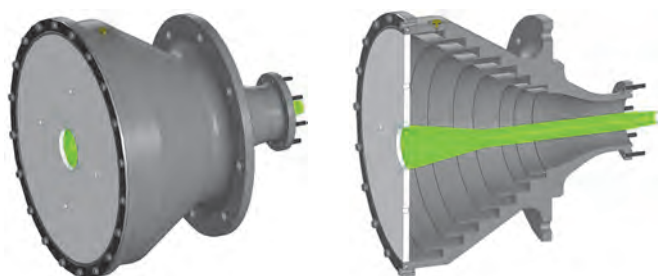


Рис. 1. Коаксиальный рупорный облучатель

Рупорный облучатель *C*-диапазона представляет собой конический рупор с внутренней поверхностью, образованной периодической структурой продольных гребней с определенными геометрическими размерами структуры (рис. 2). Конструктивно облучатель имеет цельную структуру и состоит из конического рупора, согласующего перехода, волноводного присоединительного фланца и прижимного кольца. Рупорный облучатель оканчивается присоединительным фланцем для установки в коаксиальный разветвитель, обеспечивающий отбор моды H_{11} .



Рис. 2. Рупорный облучатель *C*-диапазона

Облучатель *Ka*-диапазона показан на рис. 3.

Облучатель *Ka*-диапазона закреплен в облучателе *C*-диапазона при помощи диэлектрической вставки. Данная конструкция образует совмещенный коаксиальный рупор. Параметры коаксиального рупорного облучателя *C/Ka*-диапазона были выбраны исходя из характеристик излучения, обеспечивающих оптимальный угол облучения контррефлектора 30 градусов для двухзеркальной антенны с диаметром основного рефлектора 12 м зеркальной системы в указанных рабочих диапазонах частот.



Рис. 3. Рупорный облучатель *Ka*-диапазона

Изготовленный облучатель обладает следующими электрическими параметрами: максимальное значение КСВН не превышает 1,2 по выходам *C*- и *Ka*-диапазонов в каналах приема и 1,15 и 1,3 — в каналах передачи *C*- и *Ka*-диапазонов соответственно. Уровень кросс-поляризационной развязки составляет не более минус 25 дБ и 27 дБ в *C*- и *Ka*-диапазонах. Расчетные и экспериментальные диаграммы направленности (ДН) на различных частотах *C*- и *Ka*-диапазонов приведены на рис. 4–6, при этом достижимый КИП в *C*-диапазоне составляет 0,51, в *Ka*-диапазоне — 0,43.

Экспериментальные данные подтверждают полученные при моделировании значения диаграмм направленности, что подтверждает возможность

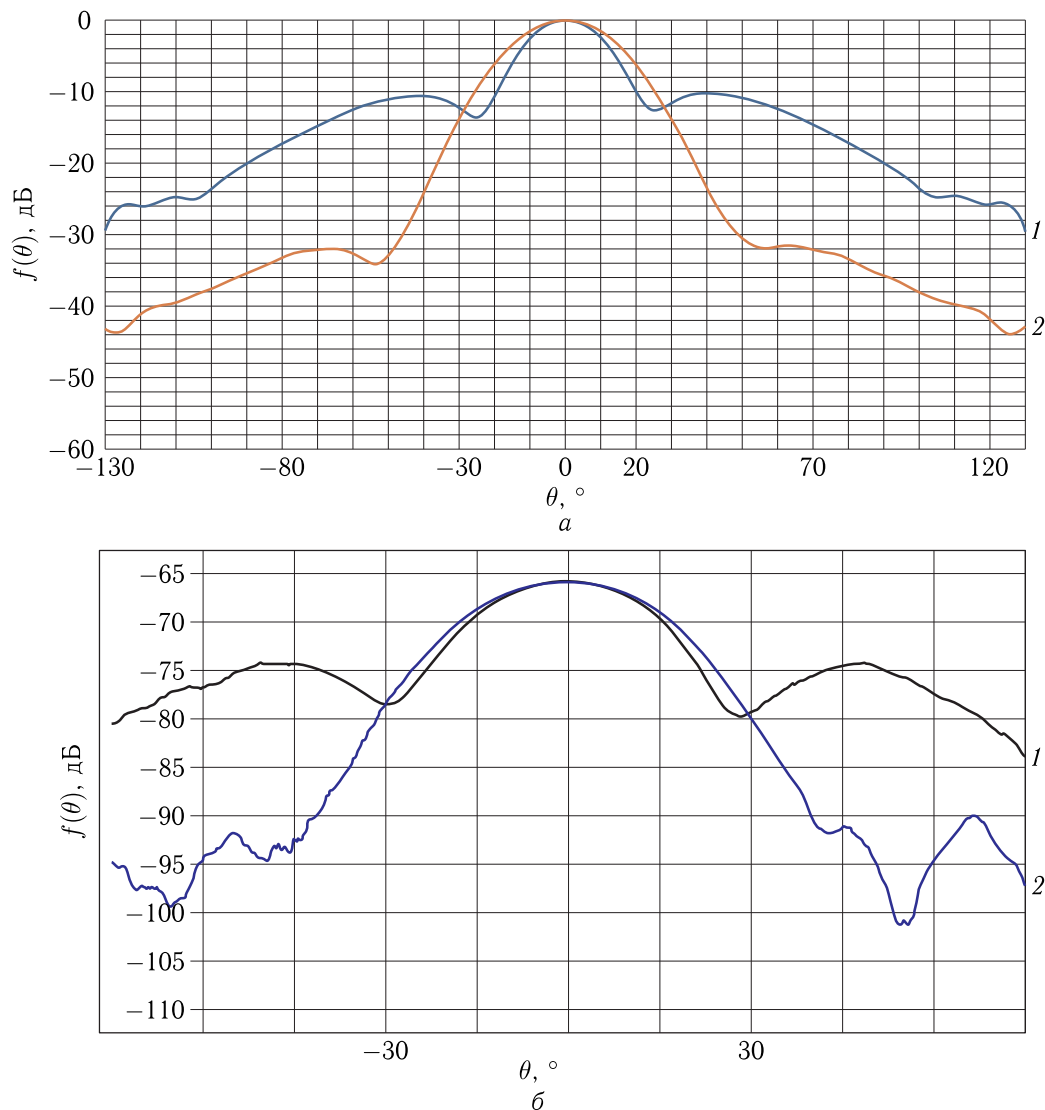


Рис. 4. Расчетные (а) и экспериментальные (б) ДН на частоте 3,4 ГГц: линия 1 — ДН в E -плоскости, линия 2 — ДН в H -плоскости

создания на основе коаксиального рупора облучателя, обеспечивающего прием и передачу сигналов ортогонально круговых и линейных поляризации C -, Ka -диапазонов с соотношением центральных частот 10 : 1 и шириной рабочей полосы частот $C_{\text{пр}} - 21\%$, $C_{\text{пер}} - 18,2\%$, $Ka_{\text{пр}} - 8,6\%$, $Ka_{\text{пер}} - 7,8\%$.

Выводы

1. Проанализированы существующие реализации различных облучателей с совмещением центральных частот в соотношении 10 : 1.

2. Выбор конструкции и моделирование параметров позволили определить оптимальные параметры коаксиального облучателя, обеспечивающие уровень угла облучения контррефлектора 30 градусов и КСВН 1,25 по выходам C - и Ka -диапазонов в каналах приема и 1,15 и 1,3 в каналах передачи C - и Ka -диапазонов соответственно, с шириной полос $C_{\text{пр}} - 21\%$, $C_{\text{пер}} - 18,2\%$, $Ka_{\text{пр}} - 8,6\%$, $Ka_{\text{пер}} - 7,8\%$.

3. Эксперимент подтвердил полученные при моделировании характеристики и возможность использования рупорного облучателя с соотношением частот 10 : 1.

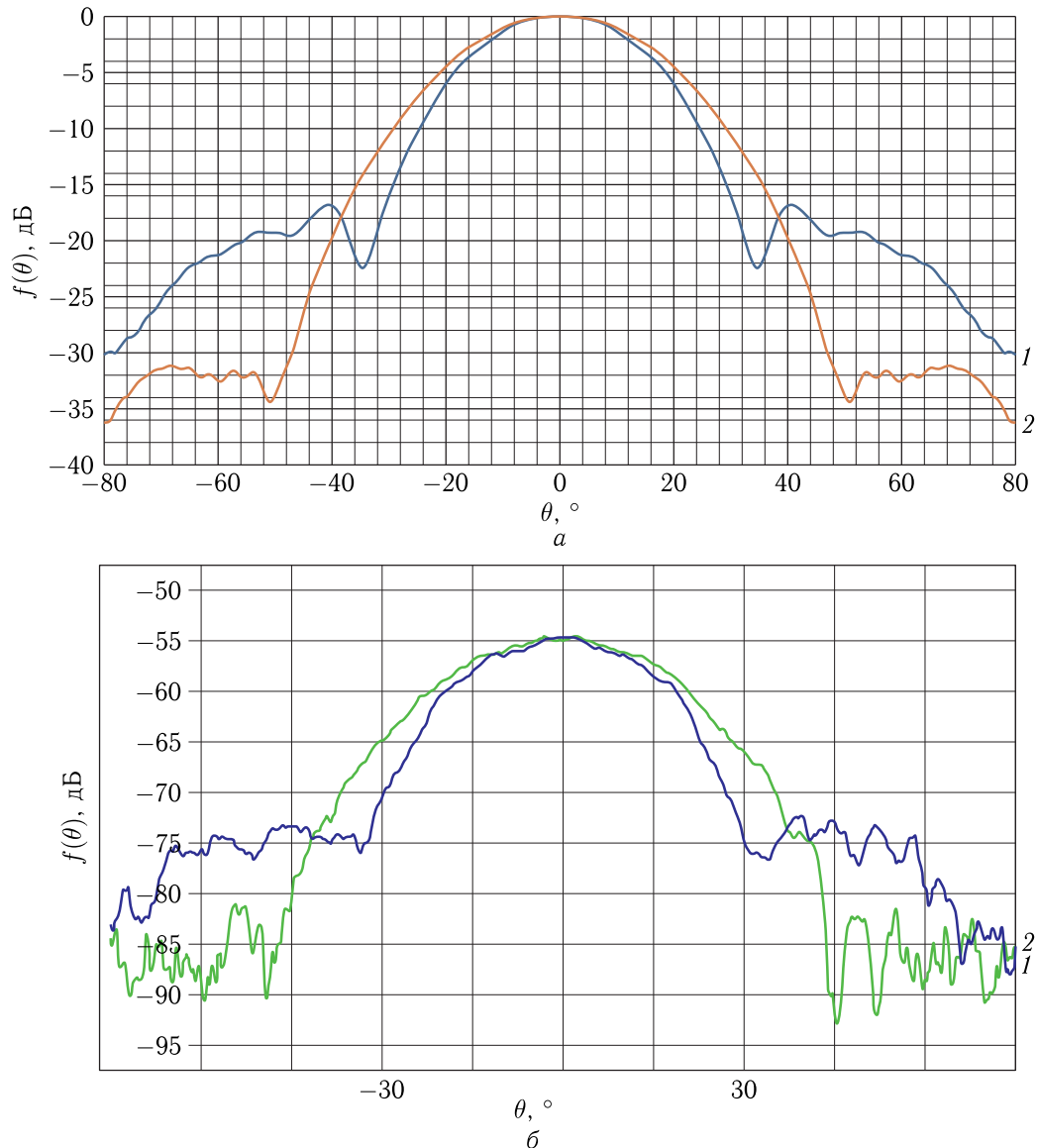


Рис. 5. Расчетные (а) и экспериментальные (б) ДН на частоте 17,7 ГГц: линия 1 — ДН в E -плоскости, линия 2 — ДН в H -плоскости

Список литературы

1. Коровкин А.Е., Раздоркин Д.Я., Шипулин А.В., Ширинов К.В. Двухдиапазонный облучатель для осесимметричных однозеркальных антенн // Общие вопросы радиоэлектроники. 2011. № 2.
2. Дубровка Ф.Ф., Овсяник Ю.А.. Двух- и многодиапазонные рупорные облучатели зеркальных антенн // Вестник Национального технического университета Украины. 2009. № 38. С. 130–147.
3. Галкина Э.В., Назаров В.С. Компактный двухдиапазонный коаксиальный облучатель с существенным частотным разнесением // СВЧ-электроника. 2019, № 4.
4. Rao S.K., Verdes R.P., Hsu C.-C. US patent No. US 8,957,821 B1. Dual-band feed horn with common beam widths. 17.02.2015.
5. Dubrovka F.F., Dubrovka R.F., Ovsianyk Yu.A. UA patent application No. a2007 03407. Multiband Coaxial Horn System. 29.03.2007.
6. Галкина Э.В., Назаров В.С. Компактная двухдиапазонная антенно-фидерная система СВЧ- и КВЧ-диапазонов // Материалы 28-й Международной Крым-

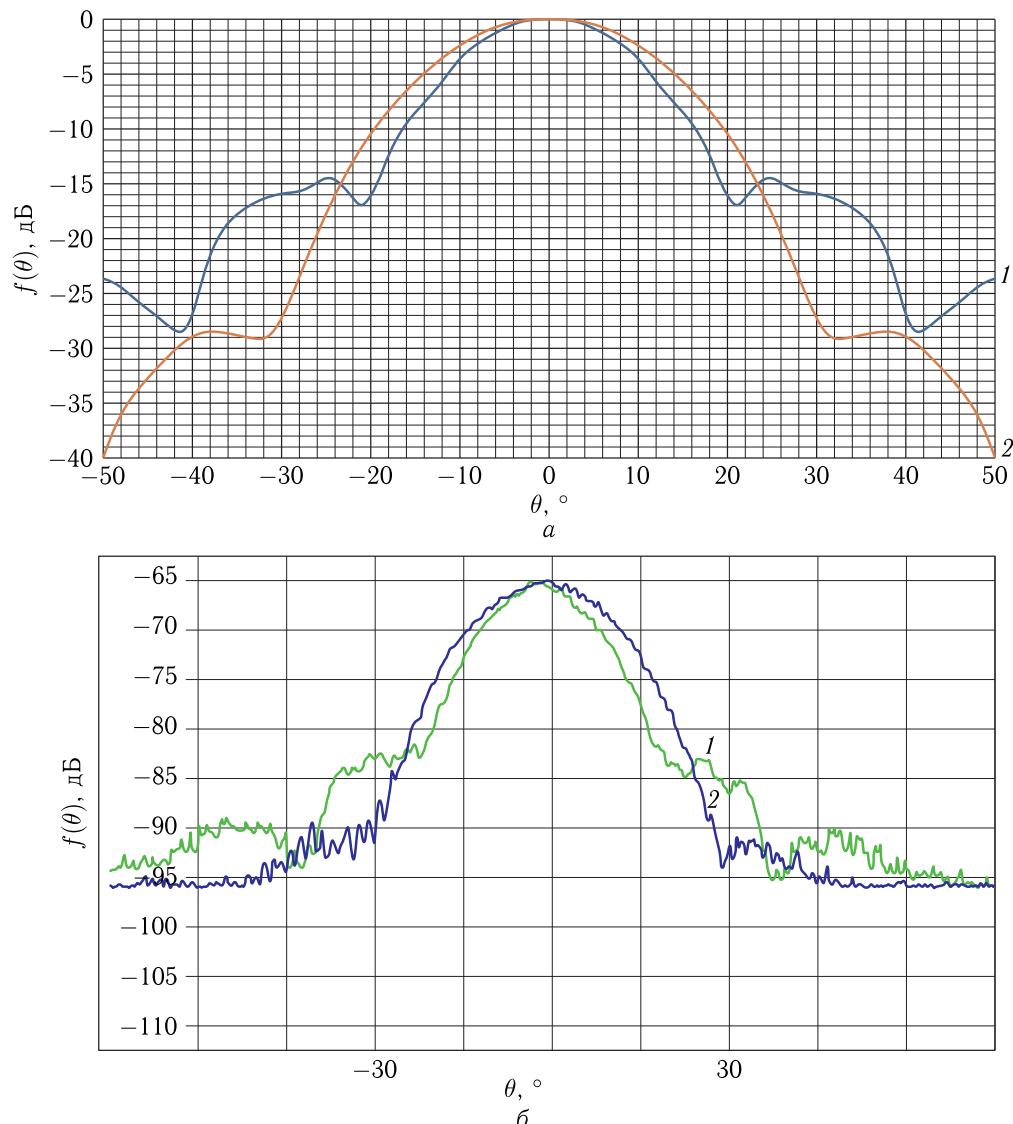


Рис. 6. Расчетные (а) и экспериментальные (б) ДН на частоте 27 ГГц: линия 1 — ДН в E -плоскости, линия 2 — ДН в H -плоскости

ской конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Севастополь, 2018. Т. 3.

7. Кирпанев А.В., Михайлов А.Н. Антенная система с существенно разнесенными частотами и широкоугловым сканированием // Сборник научных трудов Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург. 2019.
8. Казарян А.Э., Корчемкин Ю.Б. и др. Двухдиапазонные облучатели зеркальных антенн с высоким уровнем кросс-поляризационной развязки // Радиотехника. 2009. № 4.
9. Габриэльян Д.Д., Демченко В.И., Коровкин А.Е., Раздоркин Д.Я., Гвоздяков Ю.А., Полтавец Ю.И.

Построение облучателей многодиапазонных зеркальных антенн систем спутниковой связи // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2017. Т. 4, вып. 1. С. 40–45.

10. Коровкин А.Е., Раздоркин Д.Я., Шипулин А.В. Многодиапазонные облучатели зеркальных антенн на основе конических гофрированных рупоров // Антенны. 2012. Вып. 9(184). С. 19–23.
11. Бойчук С.И., Коровкин А.Е., Раздоркин Д.Я. Антенно-волноводные устройства с единым рупором для многодиапазонных антенных систем // Радиотехника. 2019. Т. 83, № 7(9). С. 202–208.