

АНТЕННАЯ РЕШЕТКА НА ОСНОВЕ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ АНТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

И.А. Баранников¹, Е.А. Ищенко¹, Ю.Г. Пастернак¹, Д.К. Проскурин¹, С.М. Фёдоров^{1,2}¹Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия²Международный институт компьютерных технологий, г. Воронеж, Россия

Аннотация: рассматривается разработанная антенная решетка на основе параболических антенных элементов и уникальность разработанной конструкции. Уникальность приведённого технического решения состоит в том, что разработанная система является антенной решеткой с очень большим электрическим периодом, и, несмотря на период расположения элементов, существенно больший длины волны, характеризуется уровнем боковых лепестков в горизонтальной плоскости не хуже -13.2 дБ, что соответствует синфазному и равноамплитудному раскрытию. Рассматривается непосредственно конструкция решётки, проводится компьютерное моделирование с целью получения характеристик антенной решетки. Решетка реализована на основе четырех сегментов зеркальной параболической антенны. Для облучения антенной решетки используется волноводный синфазный и равноамплитудный делитель мощности и вращающиеся облучатели рупорного типа, выполняющие также функцию механических поляризаторов. В ходе выполнения компьютерного моделирования получена диаграмма направленности разработанной антенной решетки. Ширина полученной диаграммы направленности системы также соответствует синфазному и равноамплитудному раскрытию. На частоте 14.5 ГГц коэффициент направленного действия соответствует величине 34.58 изотропных дБ. Ширина главного лепестка по уровню половинной мощности составила величину 2.9 градуса. Уровень боковых лепестков при этом соответствует величине -14.9 дБ. Удалось разработать недорогую зеркальную систему с хорошими характеристиками

Ключевые слова: зеркальная антенна, антенная решётка, управляемая поляризация

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (проект № FZGM-2025-0004)

Введение

Спутниковая связь довольно важна в настоящее время. Для неё характерен переход в высокочастотные миллиметровые диапазоны. Всё больше разнообразных прототипов антенных систем для связи в миллиметровом диапазоне разрабатывается и совершенствуется повсеместно. Традиционно для мобильных терминалов спутниковой связи применяется система на основе линзовой структуры, либо же на основе зеркальных антенн или их элементов. В настоящей статье будет рассмотрен пример разработанного прототипа синфазной антенной решётки из усеченных параболических антенн.

Зеркальная антенная решётка существенно легче, дешевле в изготовлении и технологичнее линзовой решётки. При использовании зеркальной антенны на мобильных терминалах обычно необходимо применение радиопрозрачных укрытий, которые являются и защитой, и обтекателем антенны. Но применение радиопрозрачных обтекателей увеличивает массогабаритные показатели системы. Существуют разработки, подразумевающие использование купольных линзовых антенн, в которых

поверхность линзы является своеобразным куполом для расположенной под ней облучающей антенной решётки. Линза преломляет лучи облучателя, находящегося под ней, и одновременно защищает антенную решётку от механических воздействий. Но производство схожих линзовых структур является довольно дорогостоящим, менее технологичным, чем производство зеркальных антенн. Также конструкция линзовой структуры имеет большую массу, чем зеркальной антенной решётки.

Пример купольной линзовой антенны в контексте использования её на мобильных терминалах для обеспечения спутниковой связи миллиметрового диапазона рассматривается в работе [1]. Как преломляющие поверхности обычно применяют параболические, сферические и другие поверхности вращения. Получившийся коэффициент усиления тороидальной линзовой антенны составляет около 17...17,5 дБ для $\epsilon = 2,3$ и около 19 дБ для $\epsilon = 2,6$. При определенном подборе значений диэлектрической проницаемости величина коэффициента усиления может достигать до 21 дБ. При малых значениях диэлектрической проницаемости материала увеличение сектора сканирования излучающей решётки вплоть до полусферы может быть затруднительным, а слиш-

ком большие значения диэлектрической проницаемости повлекут сильные переотражения от поверхностей линзы и обязательность принятия мер по их нивелированию. К недостаткам купольных линзовых антенн относится также то, что расширение сектора сканирования излучающей решётки соответствует понижению коэффициента усиления антенны. При этом во время излучения в секторе углов, прилегающих к зениту (в направлении нормали к плоскости решётки), спад уровня коэффициента усиления соответствует 10...15 дБ и более (но чтобы частично скомпенсировать падение коэффициента усиления в такой области углов, в некоторой небольшой мере повысить его и одновременно уменьшить вес антенны, купольная линза может изготавливаться усеченной). Ко всему этому, как было сказано выше, производство линзовых структур является значительно более дорогостоящим, чем производство зеркальных решёток и менее технологичным. Также линзовые структуры обычно обладают большей массой, чем зеркальные. И, также, исходя из указанных расчётных данных в вышеупомянутой статье, в итоге не удастся добиться довольно высокого уровня коэффициента усиления такой антенной системы.

Высокоскоростные терминалы спутниковой связи мобильного базирования должны быть доступными по цене большинству, по этой причине актуальным является разработка недорогих и простых антенных систем, а не только ФАР (фазированных антенных решёток), АФАР (активных фазированных антенных решёток) и других дорогостоящих антенных систем. Важное отличие зеркальных от линзовых систем заключается в том, что зеркальная антенная решётка намного легче, дешевле и технологичнее линзовой.

Конструкция антенной системы

Далее будет рассмотрена разработанная антенная решетка на основе параболических антенных элементов. Решетка реализована на основе четырех сегментов зеркальной параболической антенны. Зеркальными антеннами называют антенны, у которых поле в раскрытии формируется в результате отражения электромагнитной волны от металлической поверхности специального рефлектора (зеркала) [2]. Зеркальные параболические антенны – это наиболее распространенные остроуправленные антенны. Их частое применение в разных областях связи можно пояснить простотой их

конструкции, возможностью получения различных диаграмм направленности, большим уровнем коэффициента полезного действия, малой шумовой температурой и достойными диапазонными характеристиками [3]. Внешний вид разработанной антенной системы представлен на рис. 1.

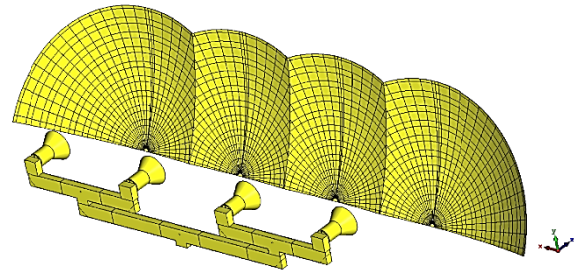


Рис. 1. Внешний вид разработанной антенной системы

Из рис. 1 можно наблюдать основные составные части конструкции антенной системы: облучатели рупоры, круглые и прямоугольные волноводы, делители мощности, и непосредственно саму отражательную антенную решётку, выполненную из четырёх усеченных сегментов параболических антенн. Предполагаемая область применения – в высокоскоростных терминалах спутниковой связи мобильного базирования. Антенна располагается на крыше автомобиля, или – локомотива, или – летательного аппарата, или судна. Необходимо размещение её под радиопрозрачным обтекателем. Так как антенная система размещается на крыше транспортного средства, то она должна быть небольшой высоты и вытянутой по горизонтали, для реализации достаточно высоких значений коэффициента усиления.

В приведённой конфигурации антенной системы реализованы механические поляризаторы – рупоры с отрезками круглых волноводов синхронно вращаются от электропривода, плоскость линейной поляризации при этом также плавно вращается. Поляризаторы к тому же могут использоваться и других видов – например, на основе ферритов, или p-i-n диодов.

Уникальность приведённого технического решения состоит в том, что это есть антенная решетка с очень большим электрическим периодом, и, несмотря на период расположения элементов, существенно больший длины волны, характеризуется уровнем боковых лепестков в горизонтальной плоскости не хуже -13.2 дБ, что соответствует синфазному и равноамплитудному раскрытию. Ширина диаграммы направленности системы также соответствует синфазному и равноамплитудному раскрытию.

Этот результат достигается благодаря тому, что области параболических сегментов, расположенные вблизи их границы, облучаются двумя облучателями, в результате чего существенно сужается неравномерность диаграммы направленности в горизонтальной плоскости.

Для облучения антенной решетки используется волноводный синфазный и равноамплитудный делитель мощности и вращающиеся облучатели рупорного типа, выполняющие также функцию механических поляризаторов. Разрез облучателя представлен на рис. 2.

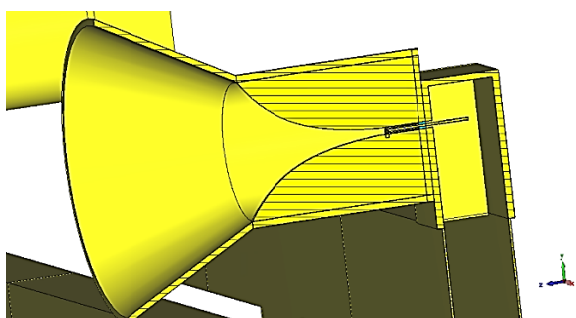


Рис. 2. Облучатель в разрезе

Приведенный на рис. 2 вращающийся облучатель выполняет функцию механического поляризатора, возбуждаемого штырем, погруженным в прямоугольный волновод.

Характеристики разработанной антенной системы

Было проведено компьютерное моделирование представленной антенной системы с помощью программы CST STUDIO. Результаты моделирования трёхмерной диаграммы направленности на частоте 14.5 ГГц представлены на рис. 3.

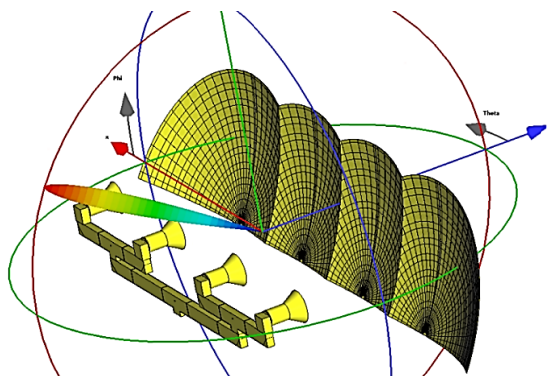


Рис. 3. Трёхмерная диаграмма направленности антенной системы на частоте 14.5 ГГц

На частоте 14.5 ГГц коэффициент направленного действия системы соответствует величине 34.58 изотропных дБ. Проекция диаграммы

направленности на плоскость (Theta = 150) представлена на рис. 4.

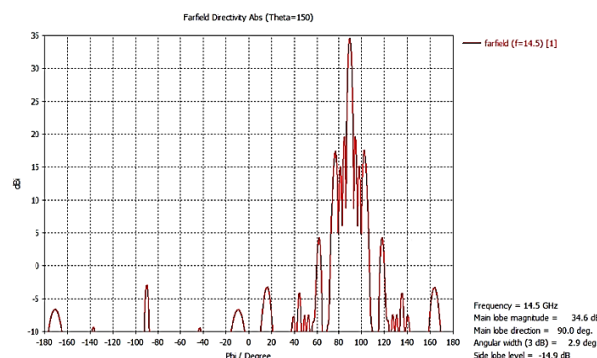


Рис. 4. Проекция диаграммы направленности на плоскость

Из проекции диаграммы направленности на плоскость на рис. 4 (угол Theta=150) можно увидеть, что ширина главного лепестка по уровню половинной мощности составила величину 2.9 градуса. Уровень боковых лепестков при этом соответствует величине -14.9 дБ.

Заключение

В данной работе была рассмотрена и исследована разработанная антенная решетка на основе параболических антенных элементов. Уникальность рассмотренной разработанной конфигурации в том, что это антенная решетка с очень большим электрическим периодом, но и при таком периоде размещения элементов, существенно превышающем длину волны, реализуется уровень боковых лепестков в горизонтальной плоскости не хуже -13.2 дБ, что говорит о синфазном и равноамплитудном раскрыве. Ширина диаграммы направленности системы также соответствует синфазному и равноамплитудному раскрыву. Удаётся добиться такого результата с помощью того, что области параболических сегментов, расположенные вблизи их границы, облучаются двумя облучателями, и из-за этого значительно сужается неравномерность диаграммы направленности в горизонтальной плоскости. Из результатов компьютерного моделирования было получено, что на частоте 14.5 ГГц коэффициент направленного действия соответствует величине 34.58 изотропных дБ. Ширина главного лепестка по уровню половинной мощности составила величину 2.9 градуса. Уровень боковых лепестков при этом соответствует величине -14.9 дБ. Можно сказать то, что удалось разработать недорогую зеркальную систему с очень достойными характеристиками, что подтверждают результаты компьютерного моделирования.

Литература

1. Гибридные диэлектрические линзовые антенны средств связи сантиметрового и миллиметрового диапазонов. Обзор / Е.В. Захаров [и др.] // Журнал радиоэлектроники, 2020. № 2. С. 3-12.

2. Обзор зеркальных параболических антенн / А.Г. Анисимов [и др.] // Надежность и качество: труды Международного симпозиума, 2017. Т. 1. С. 166-167.

3. Чистюхин В.В. Антенно-фидерные устройства: учеб. пособие. М.: МИЭТ, 2010. 116 с.

Поступила 05.09.2025; принята к публикации 11.11.2025

Информация об авторах

Баранников Илья Андреевич – аспирант, ассистент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: 8thbar@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3093-0455>

Ищенко Евгений Алексеевич – аспирант, инженер, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: kursk1998@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5270-0792>

Пастернак Юрий Геннадьевич – д-р техн. наук, профессор, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84), e-mail: pasternakyg@mail.ru

Проскурин Дмитрий Константинович – канд. физ.-мат. наук, доцент, ректор, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84), e-mail: rector@cchgeu.ru

Фёдоров Сергей Михайлович – канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет (394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84); Международный институт компьютерных технологий (394026, Россия, г. Воронеж, ул. Солнечная, д. 29 б), e-mail: fedorov_sm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9027-6163>

ANTENNA ARRAY BASED ON PARABOLIC ANTENNA ELEMENTS

I.A. Barannikov¹, E.A. Ishchenko¹, Yu.G. Pasternak¹, D.K. Proskurin¹, S.M. Fedorov^{1,2}

¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

²International Institute of Computer Technologies, Voronezh, Russia

Abstract: this paper examines the developed antenna array based on parabolic antenna elements and the uniqueness of the developed design. The uniqueness of the presented technical solution lies in the fact that the developed system is an antenna array with a very long electrical period. Despite the period of the element arrangement, which is significantly greater than the wavelength, it is characterized by a sidelobe level in the horizontal plane no worse than -13.2 dB, which corresponds to an in-phase and equal-amplitude aperture. We examined the array design itself, and performed computer modeling to obtain the antenna array characteristics. We implemented the array based on four segments of a reflector parabolic antenna. To irradiate the antenna array, we used a waveguide in-phase and equal-amplitude power divider and rotating horn-type feeds, which also act as mechanical polarizers. During the computer modeling, we obtained the radiation pattern of the developed antenna array. The width of the resulting radiation pattern of the system also corresponds to an in-phase and equal-amplitude aperture. At 14.5 GHz, the directivity is 34.58 isotropic dB. The main lobe width at half power is 2.9 degrees. The side lobe level is -14.9 dB. We were able to develop a low-cost mirror system with good performance

Key words: reflector antenna, antenna array, controlled polarization

Acknowledgments: the work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment (project no. FZGM-2025-0004)

References

1. Zakharov E.V. et al. "Hybrid dielectric lens antennas for centimeter- and millimeter-wave communication equipment", review, *Journal of Radio Electronics (Zhurnal radioelektroniki)*, 2020, no. 2, pp. 3-12.
2. Anisimov A.G. et al. "Review of reflector parabolic antennas", *Proc. of the Int. Symposium "Reliability and Quality" (Nadezhnost' i kachestvo)*, 2017, vol. 1, pp. 166-167.
3. Chistyukhin V.V. "Antenna-feeder devices" ("Antenno-fidernye ustroystva"), Moscow: MIET, 2010, 116 p.

Submitted 05.09.2025; revised 11.11.2025

Information about the authors

Ilya A. Barannikov, graduate student, assistant, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), tel.: +7(473)243-77-29, e-mail: 8thbar@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3093-0455>

Evgeniy A. Ishchenko, graduate student, engineer, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), tel.: +7(473)243-77-29, e-mail: kursk1998@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5270-0792>

Yuriy G. Pasternak, D. Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: pasternakyg@mail.ru

Dmitriy K. Proskurin, Cand. Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Rector, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia), e-mail: rector@cchgeu.ru

Sergey M. Fedorov, Cand. Sc. (Technical), Associate Professor, Voronezh State Technical University (84 20-letiya Oktyabrya str., Voronezh 394006, Russia); Associate Professor, International Institute of Computer Technologies (29b Solnechnaya str., Voronezh 394026, Russia), tel.: +7(473)243-77-29, e-mail: fedorov_sm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9027-6163>