

*П. В. Чернов, А. А. Тришаков, С. К. Казьмин,  
М. А. Фомин, В. В. Чепрасов\**

## **АНТЕННАЯ РЕШЕТКА НАЗЕМНОЙ СТАНЦИИ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ «ЭКСПРЕСС-РВ»**

В настоящее время достаточно эффективно развиваются спутниковые системы связи, в том числе спутниковые системы отечественного производства для решения задач обеспечения покрытия дальних территорий, территорий Крайнего Севера, Северного Морского Пути и так далее. Одним из таких проектов является проект «Сфера», и одна из его составляющих – проект спутниковой группировки «Экспресс-РВ». Особенность данных космических аппаратов заключается в их расположении на высокой эллиптической орбите, что позволяет обеспечить покрытие практически всей территории РФ, в том числе зоны Крайнего Севера, Арктики, Северного Морского Пути и обеспечить необходимую связь и навигацию на этих территориях [1].

Для эффективной работы таких систем необходимо использовать спутниковые терминалы, которые обеспечивают бесперебойное установление канала радиосвязи. Это может быть достигнуто за счет применения высокоэффективных адаптивных антенных решеток.

В качестве такой антенной системы желательно рассматривать антенные решетки с цифровым диаграммообразованием, которое позволяет в реальном времени эффективно управлять лучом диаграммы направленности антенной решетки, обеспечить необходимый коэффициент усиления и организовывать бесперебойное установление связи непосредственно с космическим ретранслятором группировки спутников «Экспресс-РВ» [2].

В связи с тем, что такие терминалы, как правило, должны иметь мобильное исполнение, то тут предъявляется ряд требований, связанный с массогабаритными показателями. Поэтому цифровая антенная решетка будет представлять собой единый комплекс, который будет сочетать и приемопередающие узлы спутникового терминала и саму антенную решетку.

---

\* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» О. А. Белоусова.

В качестве антенной решетки рассматривается решетка, выполненная из микрополосковых дисковых излучателей. Спутниковая группировка «Экспресс-РВ» работает в диапазоне от 10 до 15 ГГц, но downlink и uplink для стационарных систем спутниковой службы и систем подвижной службы отличается, и для систем подвижной службы диапазон равен 12,4 ГГц.

Электродинамические характеристики микрополоскового дискового излучателя, рассчитанного на диапазон 12,4 ГГц: коэффициент усиления равен 6,662 дБи, коэффициент стоячей волны равен 1,34, ширина луча более 3 дБ ниже пикового уровня равна 76,12 град. в плоскости  $\theta$ , и 82,02 град. в плоскости  $\phi$ . Диаграмма направленности (ДН) и 3D-модель излучателя показана на рис. 1.

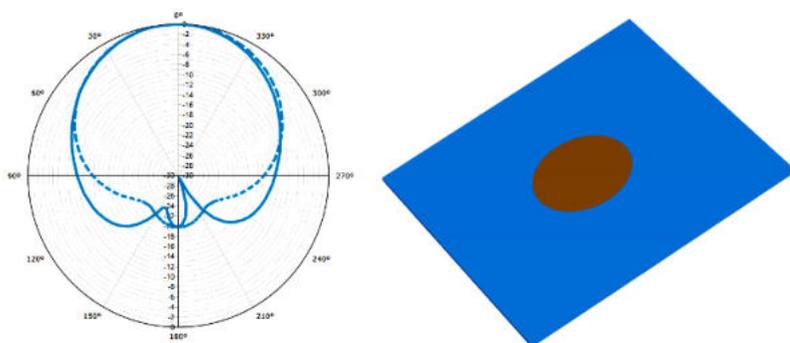


Рис. 1. ДН (слева) и 3D-модель дискового микрополоскового излучателя

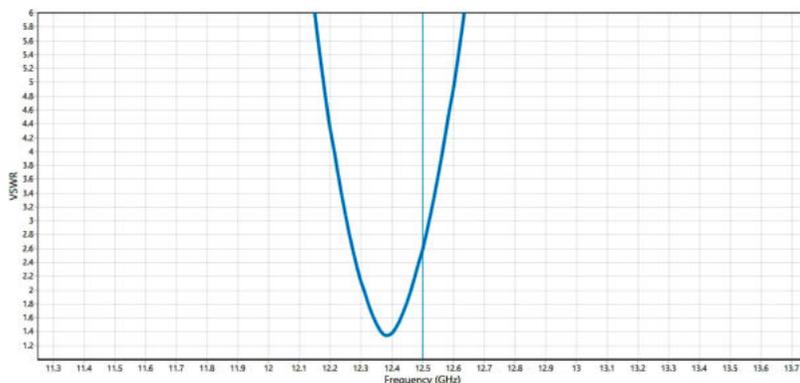


Рис. 2. Коэффициент стоячей волны микрополоскового излучателя

Также, в результате расчетов были получены размеры излучателя: диаметр пластины излучателя 7,1 мм, толщина подложки 356 мкм, в качестве материала подложки был выбран пластик марки RO4835, обладающий диэлектрической проницаемостью, равной 3,66 Ф/м.

Данный тип излучателей достаточно эффективно подходит для построения плоской антенной решетки в составе спутникового терминала [3].

Для обеспечения необходимого коэффициента усиления, ширины диаграммы направленности, а также возможности управления качением луча будет использоваться плоская эквидистантная адаптивная цифровая антенная решетка, размерностью 7×7. Диаграмма направленности цифровой антенной решетки представляет из себя:

$$f(\theta, \phi) = f_c(\theta, \phi) f_{\text{ЕИ}}(\theta, \phi),$$

где  $f_c(\theta, \phi)$  – множитель решетки;  $f_{\text{ЕИ}}(\theta, \phi)$  – значение единичного излучателя.

Построим феноменологическую модель такой антенной решетки:

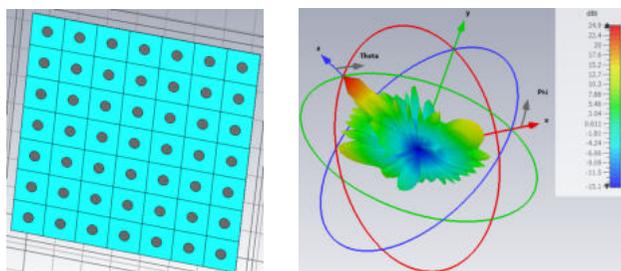


Рис. 3. 3D-модель антенной решетки и ДН

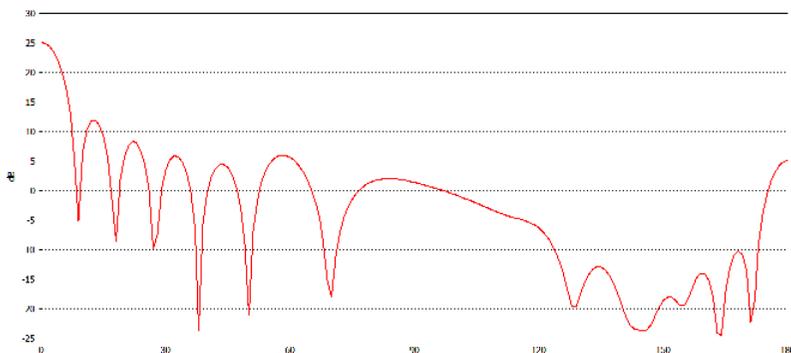
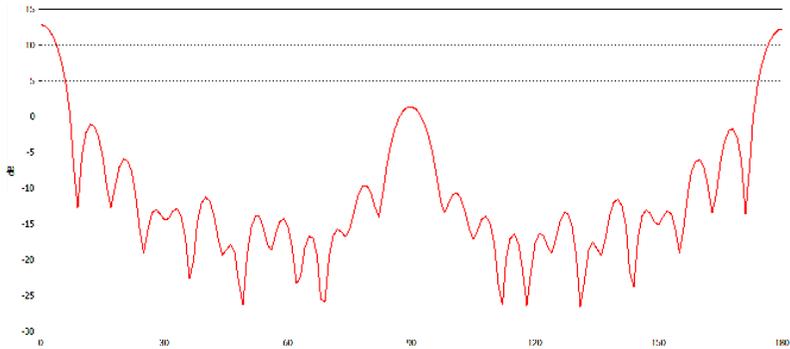
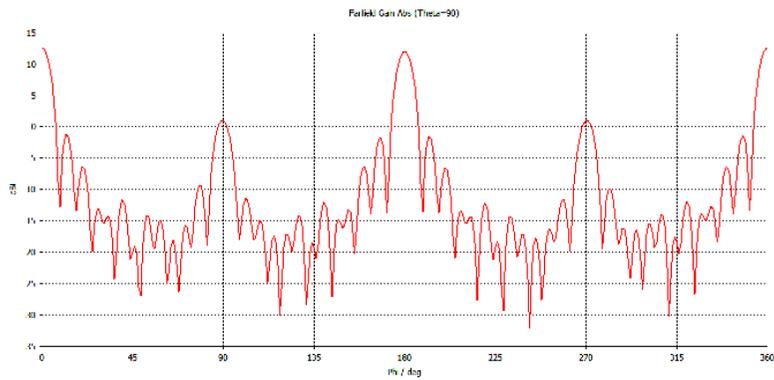


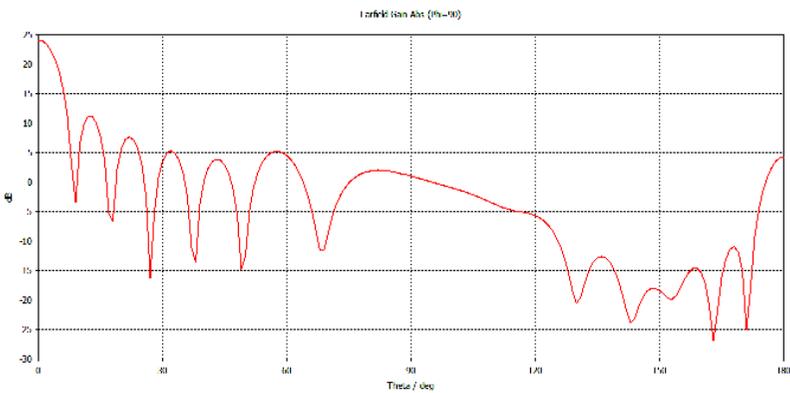
Рис. 4. ДН антенной решетки в плоскости theta



**Рис. 5. ДН антенной решетки в плоскости  $\phi$**



**Рис. 6. Коэффициент усиления в плоскости  $\theta$**



**Рис. 7. Коэффициент усиления в плоскости  $\phi$**

Таким образом, применение такого типа антенной решетки, выполненной в микрополосковом исполнении, совместно с приемопередающим модулем позволит построить высокоэффективные мобильные спутниковые терминалы, обладающие хорошими массогабаритными показателями, а также достаточно высокими радиотехническими показателями, позволяющими в реальном времени осуществлять бесперерывную связь и установление соединения со спутниками как при стационарном обслуживании, так и в мобильном обслуживании.

### Список литературы

1. Локшин, Б. «Экспресс-РВ» – перспективная система связи со спутниками на высокоэллиптических орбитах / Б. Локшин // Технологии и средства связи. – 2018. – № S1. – С. 62 – 71.

2. Кудряшов, М. А. Синтез структуры антенной решетки с электрическим сканированием луча на основе излучателей круговой поляризации для радиолокационной метеостанции / М. А. Кудряшов, О. А. Белоусов, А. Д. Киселев // Радиоэлектроника. Проблемы и перспективы развития : Четвертая Всерос. молодеж. науч. конф., посвященная дню радио, Тамбов, 6–7 мая 2019 года. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ГГТУ», 2019. – С. 165 – 167.

3. Синтез цилиндрической фазированной антенной решетки на основе логопериодических вибраторных антенн для систем широкополосного доступа стандарта IEEE802.11, IEEE802.16 / О. А. Белоусов, Р. Ю. Курносков, П. А. Горшков, А. Г. Рязанова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2015. – Т. 21, № 2. – С. 266 – 272. – DOI : 10.17277/vestnik.2015.02.pp.266-272

*Кафедра «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем» ФГБОУ ВО «ГГТУ»*