

*Любина Л.М., Сугак М.И., Шихов Г.А.  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ»*

## **Плоская металлическая линзовая антенна К-диапазона**

*Представлены результаты проектирования и экспериментального исследования трёхслойной металлической проходной антенной решётки (плоской линзы) К-диапазона, построенной на основе щелевых излучателей и выполненной методом лазерной резки. Приведены результаты электродинамического моделирования характеристик на основе ячейки Флоке и для конечной структуры.*

**Ключевые слова:** плоская линзовая антенна, К-диапазон, КУ, ячейка Флоке, лазерная резка.

Целью исследования является разработка плоских металлических линзовых антенн мм-диапазона, реализуемых методом лазерной резки, а также изучение возможности расширения полосы рабочих частот за счёт увеличения плотности расположения излучающих элементов на раскрыве.

Основными недостатками классических линзовых антенн являются высокая стоимость, масса и ограниченные эксплуатационные характеристики. Решением данной проблемы может быть реализация проходных антенных решёток (ПАР) [1,2]. Использование печатных технологий при выполнении ПАР является дорогостоящим, кроме того, такие антенны более подвержены влиянию внешнего климатического воздействия. Применение альтернативных технологических методов, например фрезерования композитных панелей позволит удешевить производство и повысить прочность конструкции [3], сюда же можно отнести и использование метода лазерной резки. Конструкция предлагаемого варианта трёхслойной ПАР ясна из рис.1, щелевые излучающие элементы имеют одинаковую геометрию в каждом слое.



Рис. 1. Макет трёхслойной щелевой ПАР.

Для выбора геометрии элементов использовался подход, основанный на концепции бесконечной АР с применением теоремы Флоке. На рисунке 2 представлен вид одной ячейки, характеристики которой исследовались FEM-методом, где  $a$  – шаг решётки в H-плоскости,  $b$  – шаг решётки в E-плоскости,  $d$  – расстояние между слоями,  $W$  – ширина щели,  $L$  – длина щели,  $T$  – толщина металла, принятая равной 0.5 мм.

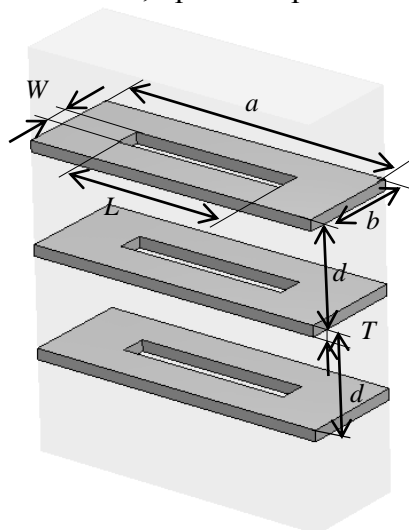


Рис.2. Вид ячейки Флоке

Подход, рассмотренный в работах [4,5], позволил оценить добротность излучающих элементов в составе двумерно-бесконечной многослойной эквидистантной вибраторной ПАР и выбрать шаг решетки, обеспечивающий расширение полосы рабочих частот системы (приблизительно вдвое по отношению к известным печатным аналогам) за счёт оптимизации межэлементных связей при более плотной упаковке элементов. Таким образом, и в дуальном случае (с применением щелевых элементов) представляется целесообразным переходить к малым шагам решётки для реализации широкой полосы рабочих частот.

Для эффективной трансформации сферической волны облучателя в плоскую использовались предварительно рассчитанные зависимости коэффициента отражения ( $S_{11}$ ) от электрических размеров элемента, а так же S-кривые для рассматриваемых геометрий, представленные на рисунках 3-5. Из них видно, что при выборе геометрии ячейки Флоке необходимо искать компромисс между диапазоном перестройки S-кривой и уровнем  $S_{11}$ . Так для кривых, соответствующих диапазону перестройки фазы прошедшего сигнала большому  $360^\circ$  наблюдаются повышенные уровни коэффициента отражения (кривая 1 на рис.3 а,б, кривая 4 на рис. 4 а,б, кривая 1 на рис. 5, б).

В частности, в данном случае был сделан следующий выбор в реализации геометрии элементов одной ячейки ПАР:  $a=0.86\lambda$ ,  $b=0.3\lambda$ ,  $d=0.25\lambda$ . Моделирование FI-методом конечных трёхслойных ПАР производилось для случаев  $w=0.1\lambda$  и  $w=0.075\lambda$ , т.к. случай первый представлялся оптимальным с точки зрения частотной зависимости  $S_{11}$  и диапазона перестройки фазы в S-кривой, а второй хоть и обладает большим средним уровнем  $S_{11}$  в пределах ячейки Флоке, вместе с тем диапазон перестройки фазы прошедшего поля в данном случае составил почти  $380^\circ$ .

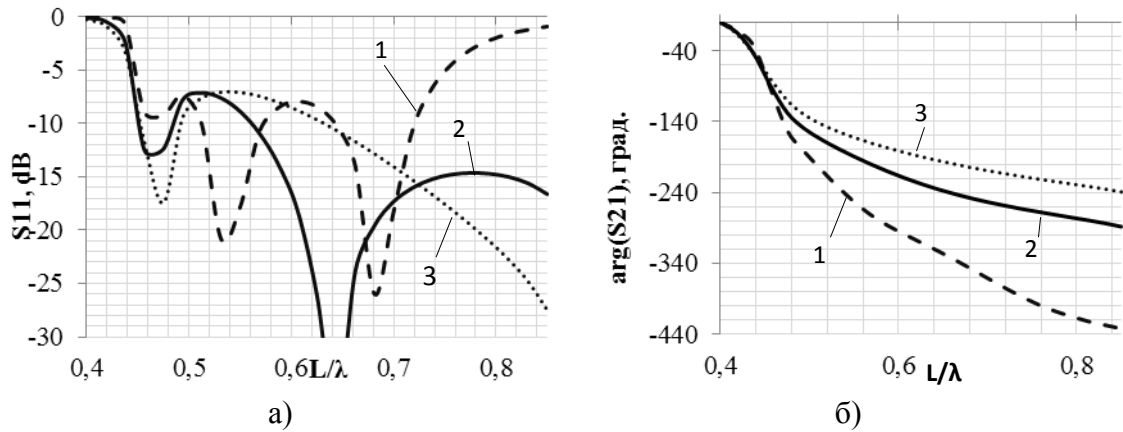


Рис. 3. а) зависимость  $S_{11}$  от длины вибратора  $L$  в долях  $\lambda$ ; б) S-кривые;  $b=0.4\lambda$   
 1 –  $w=0.1\lambda$ ; 2 –  $w=0.2\lambda$ ; 3 –  $w=0.3\lambda$ .

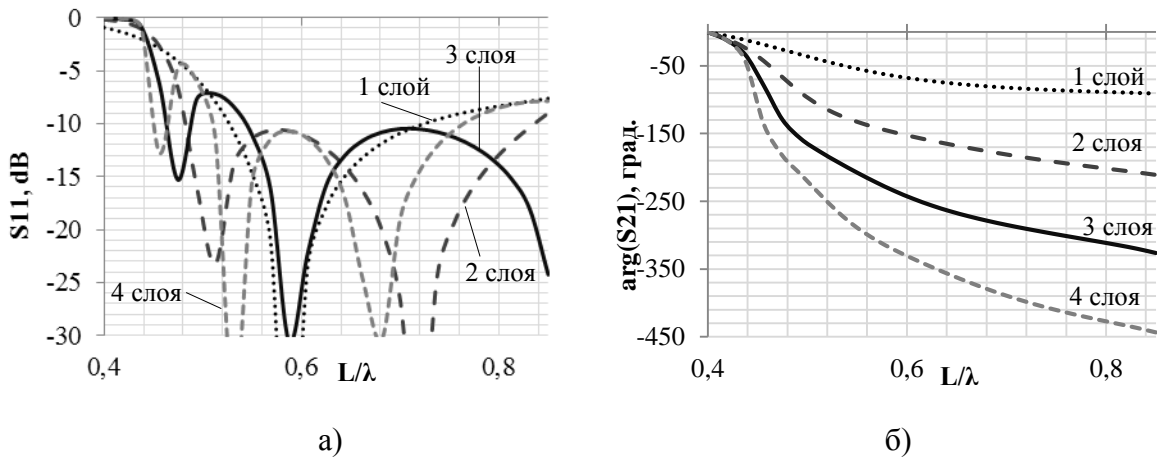


Рис. 4. а) зависимость  $S_{11}$  от длины вибратора  $L$  в долях  $\lambda$ ; б) S-кривые;  $b=0.4\lambda$   $w=0.1\lambda$

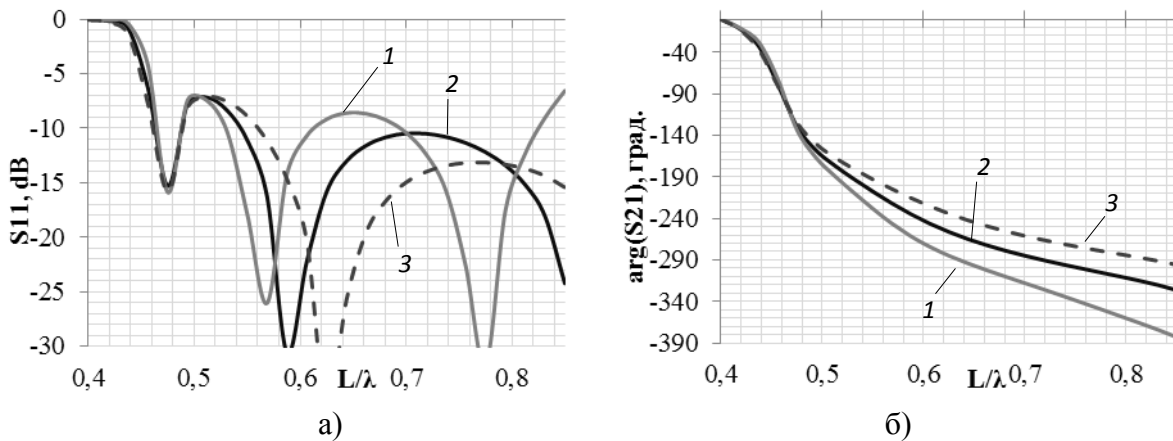


Рис. 5 а) зависимость  $S_{11}$  от длины вибратора  $L$  в долях  $\lambda$ ; б) S-кривые;  $b=0.3\lambda$   
 1 –  $w=0.075\lambda$ ; 2 –  $w=0.1\lambda$ ; 3 –  $w=0.125\lambda$ .

При использовании метода описанного в [2] были синтезированы геометрия конечной трёхслойной ПАР (рис.6 а-б, где светлым областям соответствуют большие значения вносимой фазовой коррекции и длины излучателей). Для синтеза было принято расстояние  $F/D=1$ , где  $F$  – фокусное расстояние системы,  $D$  – размер раскрыва АР.

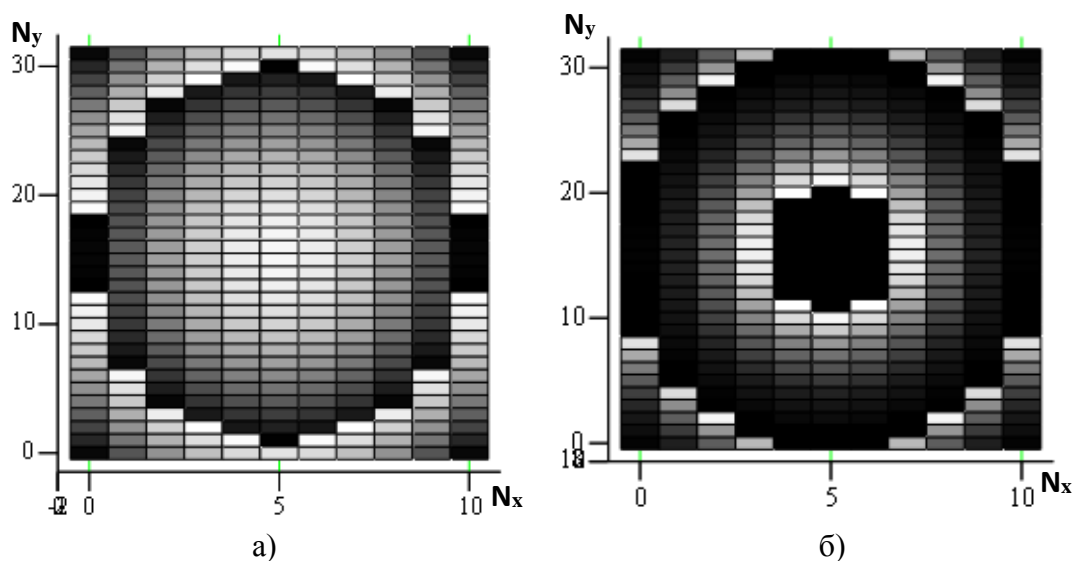


Рис. 6. а) Распределение вносимой фазовой коррекции по элементам решётки; б) распределение длин излучателей для  $b=0.3\lambda$ ,  $w=0.1\lambda$

По соображениям технологического характера, для изготовления макета (рис. 1) была принята модифицированная версия трёхслойной ПАР с  $w=0.1\lambda$ , где было проведено объединение элементов с  $N_x=5, 6$  и  $7$  и  $N_y=11$  и  $22$ .

Частотные зависимости КУ и отношения F/B для различных вариантов геометрии представлены на рисунке 7 (а, б). Полоса рабочих частот для случая, принятого для реализации макета, по уровню  $-3$  дБ относительно максимального значения КУ составляет 18.6%. ДН на центральной частоте и на границах рабочего диапазона представлены на рисунке 8.

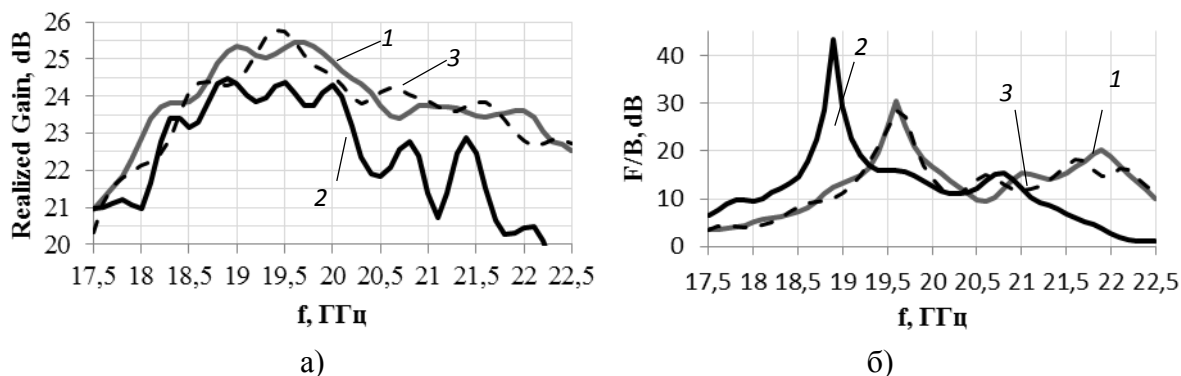


Рис. 7. а) частотные зависимости КУ; б) частотные зависимости отношения F/B; 1 –  $w=0.1\lambda$ ; 2 –  $w=0.075\lambda$ ; 3 – модифицированная геометрия.

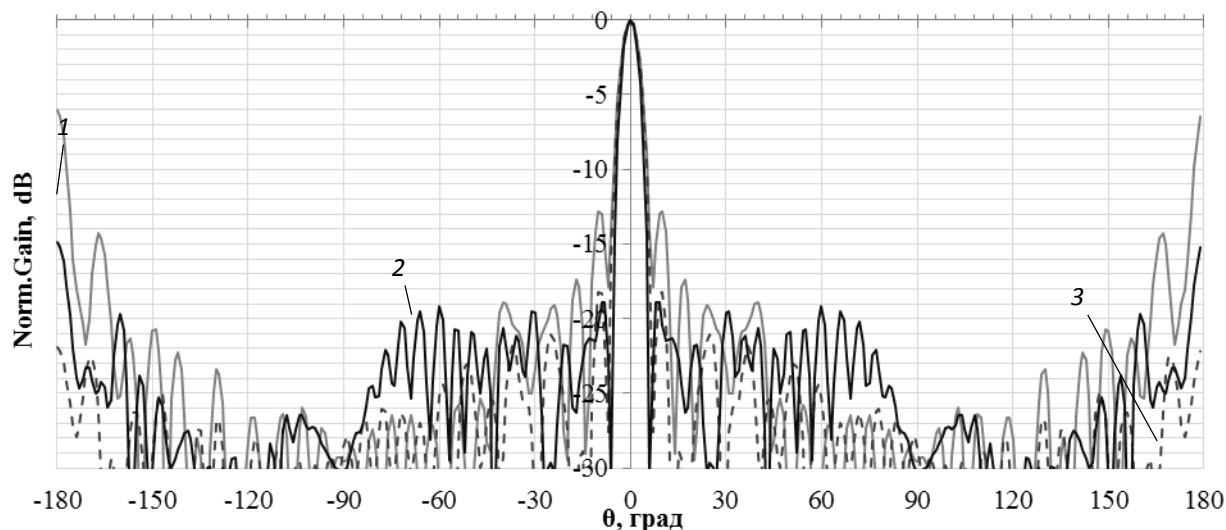


Рис.8. Расчётные ДН трёхслойной ПАР: 1 – 18.3 ГГц, 2 – 19.4 ГГц, 3 – 21.9 ГГц.

В материалах доклада приведены экспериментальные зависимости амплитудно-фазового распределения, ДН, КУ и соображения по совершенствованию конструктивных и электрических характеристик ПАР.

#### Библиографический список

1. R. Milne. Dipole Array Lens in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. AP-30, №4, July, 1982. p.704-712.
2. Балландович С.В., Костиков Г.А., Пташкин А.А., Сугак М.И. Оптимизация геометрии печатной многослойной линзы // Антенны. 2009. № 10, С.43-49.
3. Антонов Ю. Г., Балландович С. В., Костиков Г. А., Сугак, М. И. Характеристики плоских отражательных антенных решеток, выполненных на основе фрезерованных композитных панелей // Антенны. 2010. № 10. С. 5-10.
4. Любина Л.М., Сугак М.И. Добротность ленточного вибраторного излучателя в составе двухслойной бесконечной антенной решетки элементов // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2016. №2. С.63-68.
5. Любина Л.М., Сугак М.И. Шихов Г.А. Расширение полосы рабочих частот печатных проходных антенных решёток.// 70-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава университета: Сборник докладов студентов, аспирантов и молодых учёных. СПб: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017.