# Влияние диэлектрического обтекателя на характеристики микрополосковой патч-антенны X-диапазона

И.А. Богачёв, В.В. Демшевский, С.С. Сидоренко, М.Ю. Иванюшкина

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** в представленной работе исследовано влияние диэлектрического укрытия с различной диэлектрической проницаемостью на характеристики диаграммы направленности микрополосковой антенной решетки X-диапазона с электронным сканированием.

**Ключевые слова:** патч-антенна; диаграмма направленности; коэффициент усиления, диэлектрический обтекатель.

#### Введение

В настоящее время требования к бортовым радиолокационным системам значительно ужесточились, не только в отношении масса-габаритных параметрах, но и по отношению к объему и качеству принимаемой информации. Как известно, большинство антенных систем, особенно в бортовых системах, располагается под диэлектрическим укрытием (обтекателем). Как правило, электродинамические и электрофизические свойства характеристики радиопрозрачного обтекателя рассчитываются заранее, но в конечном счете, наличие обтекателя влияет на степень вносимых ошибок, возникающих при приеме или передаче информации.

Также известно, что выбор материалов диэлектрических укрытий в значительной степени влияет и на эксплуатационные тактические характеристики бортовых систем, и на их технические характеристики. Из множества радиопрозрачных материалов наибольшее применение на практике нашли такие как: стекло- и органопластики, пластмассы и керамические материалы. Выбор материала для диэлектрических укрытий основан на компромиссе между удовлетворением требований жесткости, прочности, а также, электрофизических характеристик, в частности - радиопрозрачности.

Большая часть современных РЛС работает с применением механического сканирования, однако, несмотря на сохранение формы диаграммы направленности (ДН), в этом методе обзора пространства, имеется ряд недостатков: низкая скорость сканирования, малый ресурс вибропрочности и другие. Большую часть недостатков, присущих РЛС с механическим сканированием, устранено в РЛС с электронным сканированием. Однако, как известно, для РЛС с электронным сканированием, формирование отклонения луча ДН происходит при непосредственном изменении амплитуды и фазы, на входах излучателей, что в свою очередь требует изменения амплитудно-фазового распределения в каждом случае. Но вместе с этим происходит и изменение распределения поверхностных токов на плоскости антенной решетки и как следствие, электромагнитных волн в пространстве, что порождает паразитные дифракционные эффекты на краях антенной решетки, которые могут в существенной степени повлиять на выходные параметры всей системы. Рассматриваемая проблема в технической литературе на сегодняшний день отражена недостаточно глубоко, поэтому проводимое исследование имеет большую значимость.

В работе [1] исследуется влияние, оказываемое обтекателем различной

диэлектрической проницаемостью на ДН антенны, но не рассмотрено такое же влияние при отклонении луча. В работе [2], в которой исследовался математический метод компенсирования влияния обтекателя на характеристики ДН антенной решетки в прямом направлении, но также не рассмотрен вопрос влияния при отклонении луча ДН.

В связи с этим проведем расчет и оценку влияния диэлектрического укрытия на характеристик ДН антенной решетки с электронным сканированием.

### Варианты патч-антенны для реализации решётки.

В работе [3] авторами детально исследованы несколько типов печатных патчизлучателей, применяемых в реализации многоканальных антенных решеток с электронным сканированием. На рисунке 1 представлены излучатели с различной формой, а так же способом возбуждения: «А-1» - с Y-образной щелью, возбуждаемый микрополосковой линией (МПЛ); «А-2» - с Y-образной щелью, возбуждаемый коаксиальным кабелем; и «А-3» - на основе интегрированного в подложку волновода.

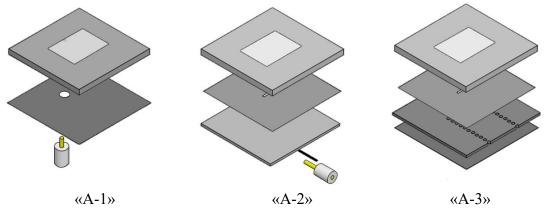


Рисунок 1. Модели рассматриваемых микрополосковых патч-антенн

Исследования, отраженные в работе [3] были взяты за основу для решения поставленной задачи. В качестве базового элемента антенной решетки, был выбран патч-излучатель, возбуждаемый при помощи интегрированного в подложку волновода. Такой излучатель более технологичен в производстве, дешевле, имеет стабильные параметры за счет закрытой структуры возбуждающей линии.

## Антенная решётка

На основе представленного излучателя реализована антенная решётка из 64-х элементов, представленная на рисунке 2.

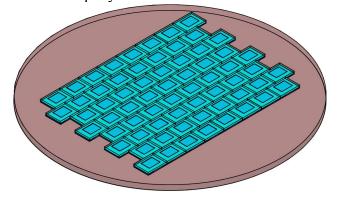


Рисунок 2. Модель 64-х элементной печатной антенной решётки

Антенная решётка представляет собой квадрат, размерностью 8х8 элементов с

гексагональным расположением излучателей по одной из координатных осей и помещена на металлическое основание.

На Рисунке 3 (а,б) представлены исследуемые модели антенной решётки под диэлектрическим укрытием конической формы. Материалами обтекателей для анализа в настоящей работы послужили кварцевое стекло (glass) с диэлектрической проницаемостью 5,5, а также стекло с наполнением композитного политетрафторэтилена (PTFE),  $\varepsilon = 2,5$ .

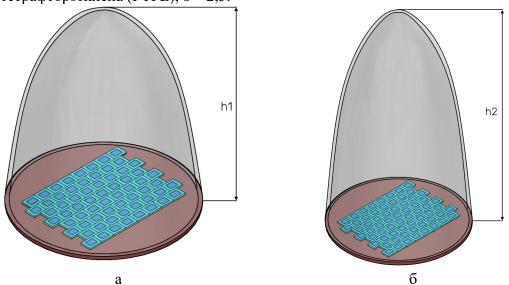


Рисунок 3. Модели антенной решётки с учетом воздействия диэлектрического обтекателя

Высота диэлектрических укрытий  $8\lambda$  и  $12\lambda$  соответственно, что является достаточным, согласно исследованиям, приведенным в литературных источниках [6,7], и имеют равномерную толщину стенок, равную 5мм в обоих случаях. Радиус скругления диэлектрических укрытий рассчитывался отдельно с учётом того, чтобы электромагнитная волна, создаваемая антенной, могла пройти сквозь диэлектрическое укрытие с минимальными искажениями. В качестве радиопрозрачного материала диэлектрического укрытия в настоящей работе, для исследования, были использованы кварцевое стекло с относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  =5,5, а также стекло с наполнением из композитного политетрафторэтилена (РТFE), имеющее  $\varepsilon$  = 2,5.

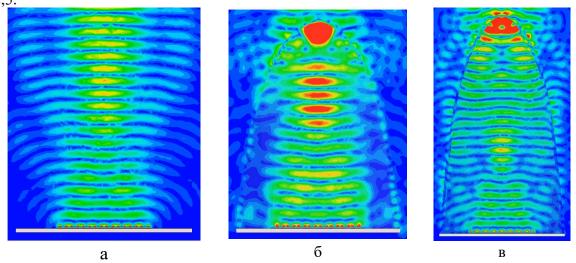
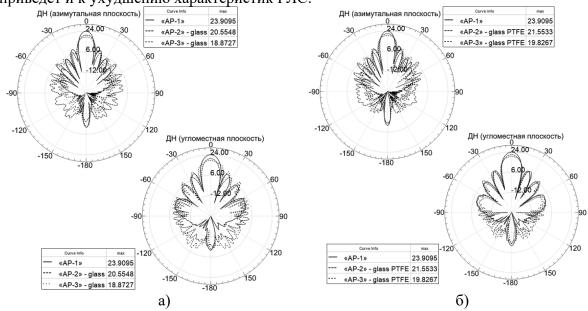


Рисунок 4. Распространение ЭМ волны антенной решетки с обтекателем и без

На Рисунке 4 (а-в) представлено распределение напряженности электрического

поля Е для антенной решетки в свободном пространстве (а) и находящейся под диэлектрическим укрытием, имеющем разную высоту. Как видно из Рисунка 3 (б,в), при прямом направлении излучения, в законцовке диэлектрического укрытия образуется концентрация электрического поля Е, что в конечном счете приводит к ухудшению КУ антенной решетки на 3 дБ и более (Рисунок 5 а,б), и в случае чистого кварцевого стекла, и в случае кварцевого стекла с наполнением из PFTE. Стоит отметить, что в случае диэлектрического укрытия, имеющего высоту  $12\lambda$  образуется поверхностная волна на границе раздела двух сред и в конечном счете приводит к дополнительным потерям в КУ (на 2 дБ) антенной решётки, а следовательно и приведет и к ухудшению характеристик РЛС.



**Рисунок 5.** ДН антенных решеток, находящихся под диэлектрическими укрытиями разной высоты при прямом излучении в плоскостях E и H

Учитывая полученные результаты на Рисунке 5, для проведения исследований по оценке влияния диэлектрического укрытия на характеристики электронного сканирования антенных решеток, была взята электродинамическая модель с диэлектрическим укрытием, имеющим высоту 8λ (Рисунок 4-б).

На рисунке 6 (а-в) представлены нормированные ДН в плоскостях E и H при электронном отклонении луча от нормали до  $60^{\circ}$  с дискретом  $10^{\circ}$  для двух типов диэлектриков с  $\epsilon$  =5,5 и  $\epsilon$  =2,5 соответственно. Чтобы оценить степень влияния диэлектрического обтекателя, на характеристики электронного сканирования антенной решетки, в качестве дополнительного параметра, было введено условие, что уровень боковых лепестков (УБЛ) и дифракционных максимумов не должен превышать значение в -10 дБ по отношению к основному лепестку ДН. Красным цветом на Рисунке 6 выделены те ДН, которые не удовлетворяют этому условию.

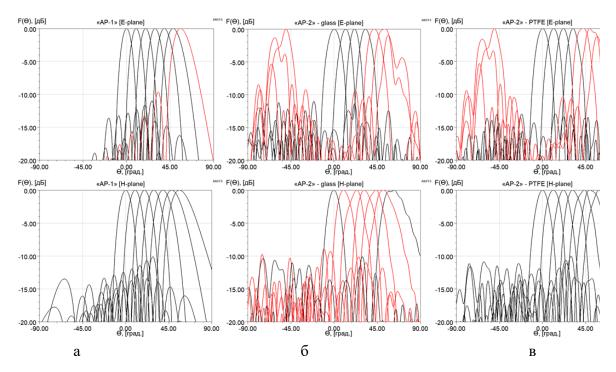


Рисунок 6. Отклонение луча ДН от нормали при различных диэлектрических укрытиях

Таким образом видим, что антенная решетка, находящаяся под диэлектрическим укрытием из материала с  $\varepsilon$  =5,5 имеет серьезное ухудшение ДН при электронном сканировании в обеих плоскостях. Антенная решетка с диэлектрическим укрытием из материала с  $\varepsilon$  =2,5 имеет значительное ухудшение ДН на углах отклонения ДН в Е-плоскости на 40° и более, что объясняется худшими показателями коэффициентов отражения на границе раздела двух сред в случае нормальной поляризации, по отношению к случаю параллельной поляризации (плоскость H).

# Выводы

Наличие диэлектрического укрытия напрямую влияет на ухудшение КУ антенных решеток во всех случаях. Для использования в качестве диэлектрического укрытия антенных решеток с электронным сканированием, наиболее подходящим является материал с меньшей диэлектрической проницаемостью. Высота диэлектрического укрытия также влияет на характеристики ДН и КУ антенных решеток. За счет образования паразитных переотражений под диэлектрическим укрытием, для систем с электронным сканированием важно учитывать не только возникающую синхронную ошибку в положении луча ДН, но и влияние диэлектрического укрытия на работоспособность антенной решетки в этих условиях.

#### Список литературы

- 1. Численное моделирование системы антенна-обтекатель / Н.Н. Кисель Известия ЮФУ. Технические науки Таганрог, 2016 104-108 с.
- 2. Алгоритм коррекции амплитудно-фазового распределения системы антенна обтекатель для обеспечения заданных характеристик направленности ФАР (АФАР) перспективных авиационных и космических РЛС / А.В. Криштопов, А.В. Щербаков ГУП НПЦ «Спурт», Москва, Зеленоград.
- 3. Влияние способа возбуждения на характеристики микрополосковой патч-антенны X-диапазона / Демшевский В.В., Богачев И.А. Всероссийская конференция «Электроника и микроэлектроника СВЧ» Санкт-Петербург 2019, с.146-150.
- 4. Analysis and Optimization of Installed Antenna Performance / Henrik Frid Doctoral Thesis in Electrical Engineering School of Electrical Engineering and Computer Science KTH Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2020.

- Современное электродинамическое сопровождение проектирования и изготовления систем антенна – радиопрозрачное укрытие / К.М. Басков - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук - Москва 2016.
- 6. Радиопрозрачные обтекатели летательных аппаратов. Проектирование, конструкционные материалы, технология производства, испытания / А.Г. Ромашин, В.Е. Гайдачук, Я.С. Карпов, М.Ю. Русин Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского 2003 239 с.
- 7. Современное электродинамическое сопровождение проектирования и изготовления систем антенна-радиопрозрачное укрытие / К.М. Басков Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт теоретической и прикладной электродинамики Российской академии наук Москва 2016, 191 с.