

# Влияние способа возбуждения на характеристики микрополосковой патч-антенны X-диапазона

В.В. Демшевский, И.А. Богачёв

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

**Аннотация:** в представленной работе исследованы микрополосковые патч-антенны с разными типами возбуждения. Проведен полный электродинамический анализ двух наиболее распространенных способов возбуждения, таких как: возбуждение излучателя с помощью микрополосковой линии через прямоугольную щель и с помощью коаксиального кабеля. Так же рассмотрен относительно новый способ возбуждения патч-антенн – на основе волновода, интегрированного в подложку. Исследованы важнейшие характеристики антенн и выявлены достоинства и недостатки каждой из них.

**Ключевые слова:** патч-антенна; волновод, интегрированный в подложку; ширина диаграммы направленности; коэффициент усиления.

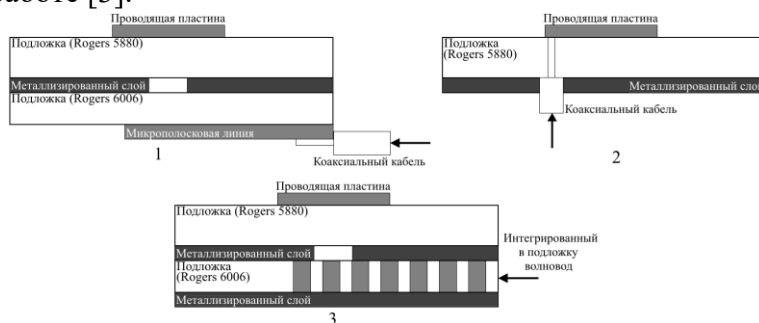
## 1. Введение

Статья посвящена исследованию характеристик печатных патч-излучателей в зависимости от системы их возбуждения. Актуальность разработки такого типа антенн обусловлена возрастающими потребностями в лёгких, тонких, технологичных и дешёвых антенных устройствах, которые возможно применять в бортовых системах связи, навигации и радиолокации, особенно на малогабаритных летательных аппаратах, не нарушая их аэродинамические качества [2].

Печатные антенны представляют собой конструкцию из одного или нескольких слоёв диэлектрика и расположенный на них плоский проводящий элемент. Отличительной особенностью данного класса антенн является то, что они могут создавать поле излучения, как с линейной, так и с круговой поляризацией, а также работать на одной или нескольких частотах с взаимно ортогональным расположением плоскостей поляризации излучаемых волн [4].

В настоящее время возбуждение микрополосковых патч-антенн осуществляется разными способами. Наиболее распространённые – это щелевое возбуждение с использованием микрополосковой линии и при помощи коаксиального кабеля (Рисунок 1 – 1, 2).

Ряд исследований микрополосковых патч-антенн с щелевым возбуждением представлен в работе [3].



**Рисунок 1.** Способы возбуждения микрополосковых патч-антенн: 1 – щелевой; 2 – с помощью коаксиального кабеля; 3 – на основе SIW

Появление волновода, интегрированного в подложку (SIW – Substrate Integrated Waveguide) открыло новые горизонты в разработке патч-антенн. Известно, что SIW имеют полностью экранированную структуру и сохраняют все характеристики своего классического аналога – прямоугольного волновода. Однако, одним из важнейших преимуществ является их массогабаритные параметры.

Антенны на основе интегрированных в подложку волноводов исследованы крайне мало, что открывает обширную возможность для работы с подобными устройствами. В научной литературе имеется несколько статей, в которых описаны исследования в указанном направлении. Исследование микрополосковой патч-антенны на основе волновода, интегрированного в подложку, было представлено в работе «Microstrip SIW Patch Antenna Design for X band Application» (2016 г.) [6]. В ней же представлено, какое влияние оказывает на характеристики антенны форма излучающей пластины.

Микрополосковые антенны на основе волновода, интегрированного в подложку, обладают множеством преимуществ, таких как малые массогабаритные параметры, низкая стоимость изготовления, так же относительно лёгкая интеграция с другими планарными устройствами в том числе и без применения СВЧ-соединителей.

## 2. Рассматриваемые патч-антенн.

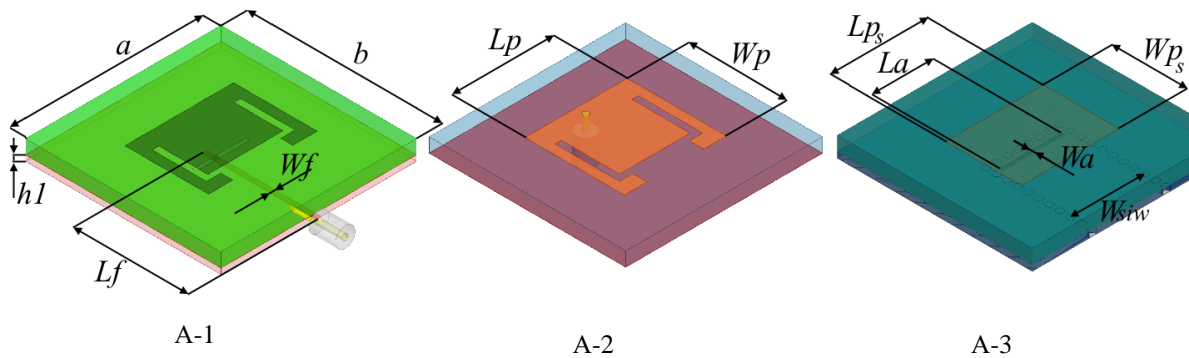


Рисунок 2. Модели рассматриваемых микрополосковых патч-антенн

Исследование таких антенн проведено в работе «Microstrip Patch Antennas Fed by Substrate Integrated Waveguide» (2013 г.) [8]. В ней рассмотрены микрополосковые патч-антенны на основе волноводов, интегрированных в подложку, представлены различные способы возбуждения на основе SIW и работа антенн в разных диапазонах частот.

Обзор, представленный выше, подтверждает, что микрополосковые патч-антенны на основе волновода, интегрированного в подложку, представляют большой практический интерес.

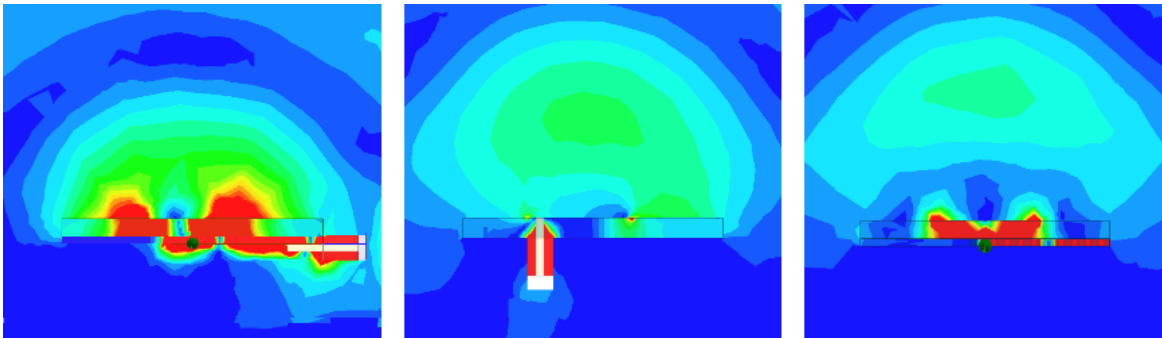
В настоящей статье описаны результаты сравнения микрополосковых патч-антенны, в зависимости от системы возбуждения. Основными требованиями предъявляемые к антеннам были: способность работать в диапазоне частот 9 – 10 ГГц, имеющие коэффициент усиления (КУ) на центральной частоте не менее 7 дБ и КСВН выхода в полосе частот не более 2. Исследование основано на строгом электродинамическом анализе моделей микрополосковых антенн, приведенных на рисунке 2. Все три модели имели квадратную форму патча с размерами  $a$  и  $b$  равные 22.12 мм.

Микрополосковая патч-антенна «А-1», изображённая на рисунке 2 представляет собой два слоя диэлектрика с разной диэлектрической проницаемостью. Нижняя подложка сделана из ПТФЭ (политетрафторэтилен) ламината на основе керамики RT/duroid 6006 ( $\epsilon_r = 6.15$ , толщиной  $h1 = 0.685$  мм). Верхняя подложка - композитный ПТФЭ ламинат, усиленный стекловолокном RT/duroid 5880 ( $\epsilon_r = 2.20$ , толщиной  $h2 = 1.575$  мм). Верхний слой содержит проводящую площадку (патч) прямоугольной

формы (размерами  $L_p = 12.3$  мм и  $W_p = 9.46$  мм, а также толщиной 0.035 мм) с Y-образной щелью и питающую микрополосковую линию (длиной  $L_f = 12.96$  мм, и шириной  $W_f = 0.64$  мм, толщина 0.035 мм). Промежуточная пластина, в которой расположена щель ( $L_a = 6$  мм,  $W_a = 0.46$  мм), является металлизированной плоскостью (толщиной 0.035 мм). Использование двухслойной структуры связано с тем, что у однослойной структуры имеется ряд недостатков. Во-первых, на одном слое невозможно размещение антенных элементов и линий питания. Во-вторых, увеличение толщины подложки для расширения полосы пропускания приводит к увеличению паразитного излучения.

Патч-антенна «А-2», изображенная на рисунке 2, представляет собой один слой диэлектрика, (Rogers RT/duroid 6006) с металлизированной плоскостью, расположенной под ним и проводящей площадкой, расположенной на подложке. Возбуждение осуществлялось коаксиальным кабелем, подведенным к излучающему элементу через отверстие в экране и подложке.

Конструктивной особенностью антенны «А-3», представленной на рисунке 2 от «А-1» и «А-2» (в части системы запитки) является наличие в нижней подложке металлизированных отверстий, разнесённых на расстояние  $W_{siw}$ . Это позволило ограничить распространение электромагнитной волны областью, расположенной между отверстиями, тем самым организовав регулярный волновод. Рисунок 3 подтверждает теорию о том, что волновод, интегрированный в подложку, является полностью экранированной структурой. Исследования антенны «А-3» показали, что видоизменение проводящей площадки и уменьшение её габаритных размеров ( $L_{ps} = 11.1$  мм,  $W_{ps} = 8.58$  мм) позволяет расширить рабочий диапазон частот и увеличить КУ антенны.



**Рисунок 3.** Распространение электромагнитной волны микрополосковых патч-антенн

Кроме указанной ранее особенности закрытой структуры, патч-антенна с возбуждением на основе SIW обладает рядом преимуществ по отношению к остальным рассматриваемым вариантам. Отсутствие стандартных соединителей позволит обеспечить лучшее согласование при моделировании антенной решётки в составе с распределительной системой, что позволит получать более точное амплитудно-фазовое распределение по антенному полотну.

### 3. Характеристики патч-антенн.

Характеристики КСВН и КУ исследуемых патч-антенн в диапазоне частот приведены на рисунке 4 и рисунке 5 соответственно.

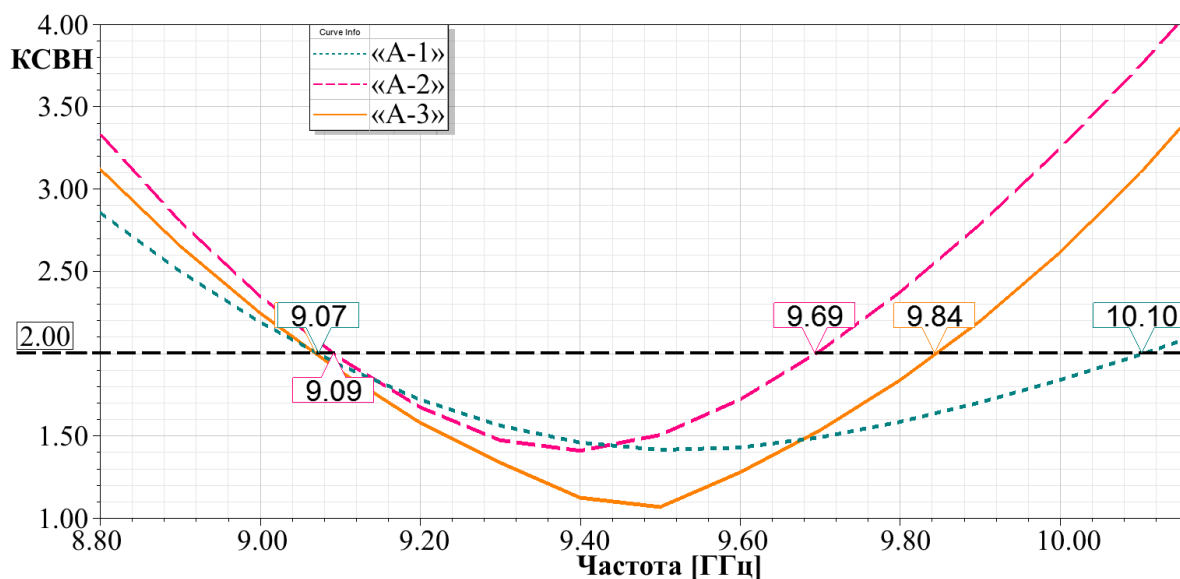


Рисунок 4. КСВН микрополосковых патч-антенн в исследуемой полосе частот

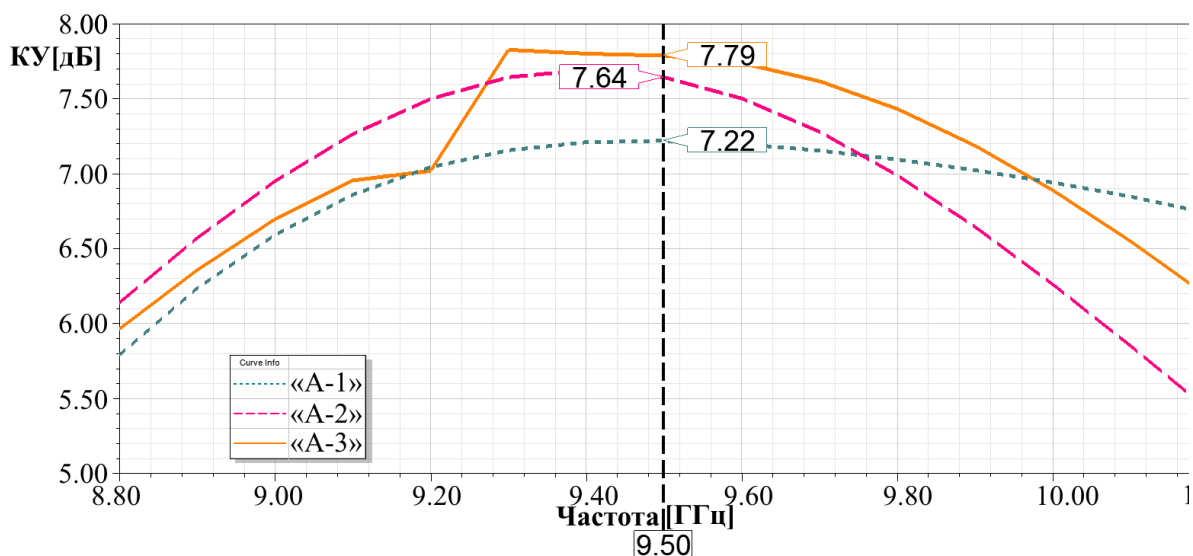


Рисунок 5. КУ микрополосковых патч-антенн в исследуемой полосе частот

Результаты показывают, что антенна «А-1» имеет лучшее согласование во всей полосе заданных частот, но при этом имеет наименьшее значение КУ в требуемом диапазоне (обладает более низким КПД), что в дальнейшем может сыграть большую роль при создании антенной решётки на ее основе. Антенна «А-2» имеет самую узкую рабочую полосу частот по КСВН, и, что немаловажно, неравномерность коэффициента усиления в полосе частот более 1 дБ. Антенна «А-3» несмотря на узкую рабочую полосу согласования, обладает лучшим КУ в полосе частот среди рассмотренных антенн, а также наибольшее его значение на центральной частоте. Недостатком является полоса 9.1 – 9.3 ГГц, в котором наблюдается небольшой резонанс в КУ, но в общей картине не является критичным.

#### 4. Диаграммы направленности.

На рисунке 6 представлены нормированные диаграммы направленности в Е и Н плоскостях на центральной частоте для всех трёх рассматриваемых конструкций. Из приведенных результатов видно, что ДН практически полностью совпадают в направлении излучения и не имеют явных искажений.

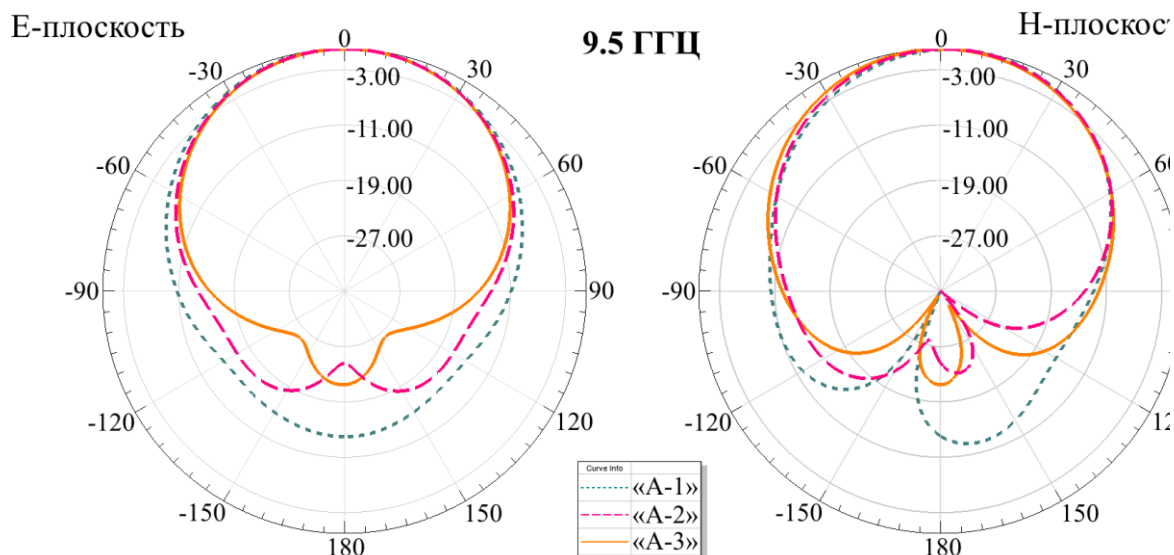


Рисунок 6. Нормированные ДН в Е и Н плоскостях патч-антенн

## 5. Выводы.

В статье рассмотрена возможность разработки микрополосковой патч-антенны на основе волновода, интегрированного в подложку и изучена её работоспособность в диапазоне частот 9-10 ГГц. Проведенный сравнительный анализ полученных результатов такой антенны с другими патч-антеннами, возбуждаемыми более распространенными способами, показал, что несмотря на недостаточную полосу согласования (менее 1 ГГц), патч-антенна на основе SIW имеет КУ выше, чем у представленных аналогов. Отсутствие потребности в применении СВЧ-соединителей позволит обеспечить лучшее согласование при разработке и позволит организовать более технологичную многослойную антенную решетку в составе с распределительной системой, имеющую стабильное амплитудно-фазовое распределение.

### Список литературы

1. Низкопрофильная антенна вытекающей волны / В.В. Демшевский, А.А. Цитович – Материалы XV научно-технической конференции «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования земли». Москва, 2018 – 357-362 с.
2. Малогабаритные печатные антенны круговой поляризации / С.Е. Банков, А. Г. Давыдов, К. Б. Папилов. 2010 – 39 с.
3. Design and Development of High Gain Wideband Microstrip Antenna and DGS Filters Using Numerical Experimentation Approach / MSc. Adel Abdel-Rahman. 2005 – 171 с.
4. Устройства СВЧ и антенны. Проектирование фазированных антенных решёток / Под ред. Д. И. Воскресенского. Москва, 2012 – 375 с.
5. Печатная антенная решётка X – диапазона с вертикальной поляризацией / Р.Д. Меджитов, П.В. Панасенко, А.В. Кондратьев, К.И. Князев. Москва –
6. Microstrip SIW Patch Antenna Design for X band Application / Mehmet A. Belen, Filiz Güneş, Alper Çalışkan. 2016
7. Design of a Novel UWB Microstrip Antenna with SIW Feed / Abbas Ebrahimi, Hamid Khodabakshi. 2018
8. Microstrip Patch Antennas Fed by Substrate Integrated Waveguide / Tomas MIKULAŠEK, Jaroslav LAČIK. 2013