

УДК 621.396.1

ЛИНЕЙНЫЕ АНТЕННЫ НА ЖЕЛОБКОВОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ, ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ В ПЛОСКОСТИ, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ ОСИ АНТЕННЫ

Ю. Е. Седельников, Мохамед Шаабан

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева - КАИ, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, д.10

Статья поступила в редакцию 24 апреля 2019 г., после доработки – 26 мая 2019 г.

Аннотация. Рассматривается задача построения антенн КВЧ диапазона, выполненных на основе диэлектрических волноводных структур. Для построения антенн с излучением, поляризованным в плоскости, перпендикулярной оси волновода, предложена новая разновидность линейной антенны, содержащая металлические штыри на боковых стенках желобкового диэлектрического волновода. Выявлен основной недостаток указанных антенн, заключающийся в наличии кросс поляризованного излучения в направлениях, близких оси волновода. Предложена новая модификация антенны с поляризацией в поперечной плоскости, выполненная в виде закрытого желобкового волновода с продольной щелью в верхней стенке. Приведены данные электродинамического моделирования, подтверждающие работоспособность предложенных антенн.

Ключевые слова: КВЧ диапазон, антенная решетка, диэлектрический волновод, антенна вытекающих волн, кросс поляризованное излучение, электродинамическое моделирование.

Abstract. The problem of constructing of millimeter band antennas, based on dielectric waveguide structures, is considered. For the construction of antennas with radiation polarized in the plane perpendicular to the waveguide axis, the new type of linear antenna containing metal pins on the side walls of the grooved dielectric waveguide is offered. The main disadvantage of these antennas is revealed, which consists in the presence of cross-polarized radiation in directions close to the axis of the waveguide. A new modification of the antenna with polarization in the transverse

plane, made in the form of a closed groove waveguide with a longitudinal slot in the upper wall, is proposed. The data of electrodynamic modeling are presented, confirming the operability of the proposed antennas.

Key words: millimeter waveband, antenna array, dielectric waveguide, leaky wave antenna, cross polarization, electrodynamic modeling.

Введение

В последние годы наблюдается устойчивый интерес к антеннам, выполненным на основе диэлектрических волноводных структур. Антенны на их основе обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими волноводно-щелевыми решетками. Прежде всего, они проще в изготовлении, что становится особенно существенно для антенн миллиметрового диапазона.

Опубликовано значительное число работ, посвященных как электродинамическому анализу, так и техническим решениям. Даже простое перечисление их в рамках данной статьи не представляется возможным. Отметим лишь часть из них [1-7].

В классическом варианте антенна состоит из диэлектрического волновода того или иного типа и содержит периодическую систему нерегулярностей в виде металлических полосок, пазов в диэлектрическом материале и др. Работа таких антенн обычно объясняется преобразованием неизлучающей поверхностной волны в диэлектрической структуре в объемную пространственную волну, свободно распространяющуюся в окружающем пространстве. Как правило, электрические размеры волновода выбирают из условия распространения основной волны (типа HE_{10}). «Возмущенный» одномодовый волновод создает излученную волну с поляризацией в плоскости оси антенны. Кросс поляризованная компонента при этом незначительна (Рис. 1). Как подтверждение, на Рис. 2 приведены результаты моделирования антенны на диэлектрическом желобковом волноводе. Антенна состоит из 21 элемента, шаг $d = 7.07$ мм, ширина и глубина пазов 2,88 и 1,06 мм, частота 37,5 ГГц, размеры желоба 7,2x3,4 мм.

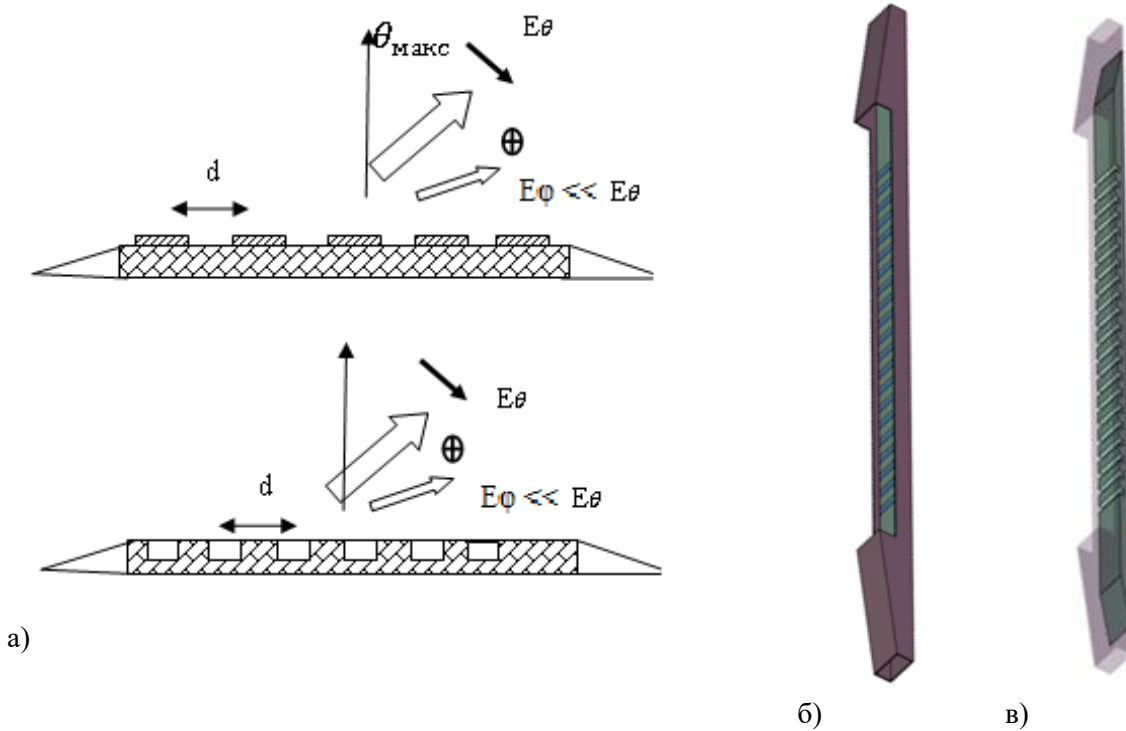


Рис. 1 Антенны с поляризацией в плоскости оси антенны. : а) формирование излучения, б) антенна с металлическими нерегулярностями, в) антенна с пазами в диэлектрике.

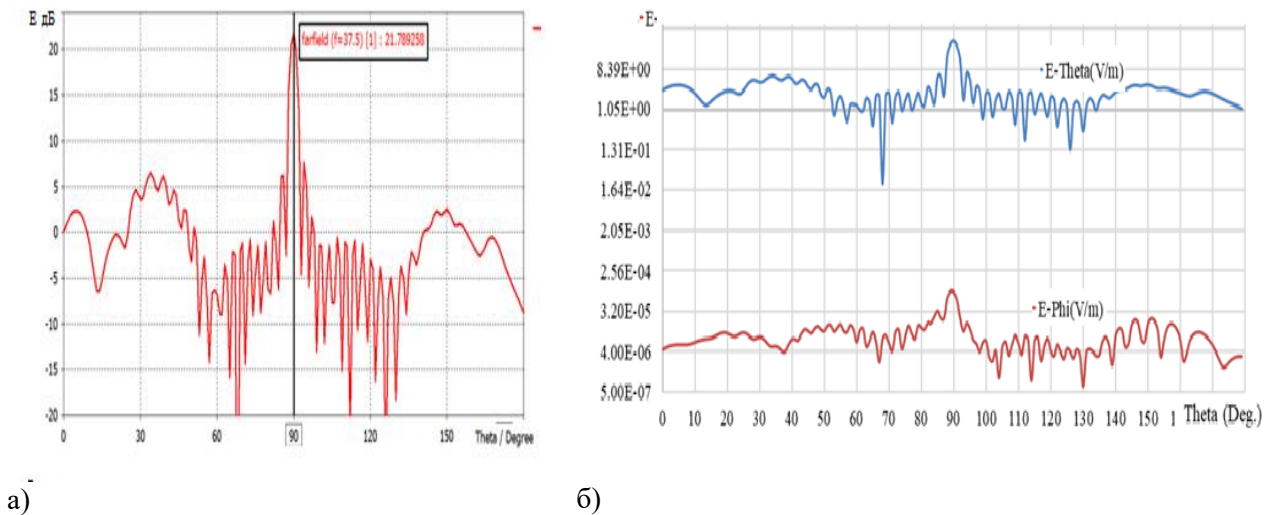


Рис. 2 ДН антенны: а) по модулю напряженности, б) по основной и кроссполяризации.

Как показывают результаты анализа, при реализации режима поперечного излучения в указанных антеннах ($d = \lambda_{\text{волн}}$) преобладает компонента E_{θ} , т.е. излучение поляризовано в плоскости антенны.

Наиболее широко известным вариантом антенны с поперечной

поляризацией является волноводно-щелевая решетка с продольными щелями на широкой стенке прямоугольного волновода. Несмотря на то, что первые публикации относятся к 40-м годам прошлого века [8], интерес к волноводно-щелевым решеткам сохраняется (например, [9]). Антенны этого типа получили широкое распространение для частотных диапазонов вплоть до сантиметрового. В миллиметровом диапазоне предпочтительнее использование антенн, выполненных на основе диэлектрических волноводов. Целью работы является рассмотрение возможности построения антенн с поляризацией в поперечной плоскости, выполненных на основе диэлектрической волноводной структуры.

Антенна с излучением, поляризованным в плоскости, перпендикулярной оси волновода

В [10] впервые предложена антенна, создающая излучение, поляризованное в плоскости, поперечной оси волновода. Антенна содержит штыри, установленные в шахматном порядке на боковых стенках желобкового волновода (Рис. 3). Желобковый диэлектрический волновод выполнен с электрическими размерами, соответствующими отсутствию распространяющихся волн ЕН и НЕ высших типов.

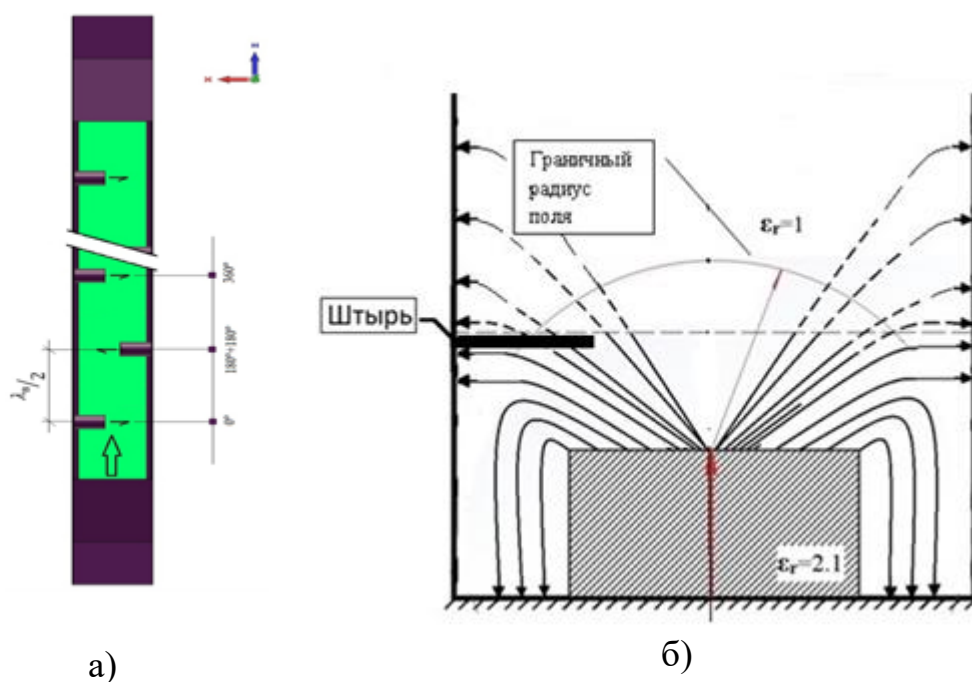


Рис. 3. Антенна с поляризацией в поперечной плоскости.

Основная волна имеет в окрестности диэлектрического стержня поперечные компоненты электромагнитного поля (Рис. 3б), которые параллельны штырям и наводят токи на их поверхности. В результате излучения формируется волна, поляризованная в направлении, поперечном оси волновода. Если расстояния между соседними штырями равны половине длины волны в волноводе, ДН соответствует излучению вибраторной решетки с синфазным возбуждением.

В то же время, наличие нерегулярностей приводит к излучению вытекающей волны. «Вытекающая» волна возникает при наличии нерегулярностей. Ее структура зависит главным образом от типа волны в диэлектрическом волноводе. Если в волноводе распространяется волна основного типа, ее излучение вследствие преобразования поверхностной волны в объемную поляризовано в плоскости волновода [11]. Излучение «вытекающей» волны может в данном случае рассматриваться как кросс поляризованное (Рис.4).

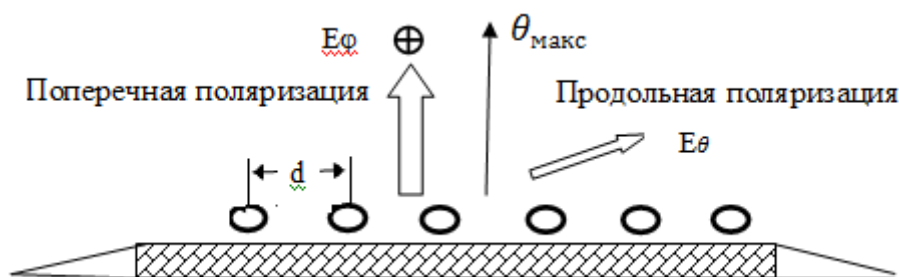


Рис. 4. Излучение антенны: поперечная и продольная поляризация.

Решетка, образованная системой встречных штырей, возбуждается соответственно фазе волны, прошедшей участок волновода длиной в половину длины волны. В направлении нормали происходит синфазное сложение парциальных полей поперечной поляризации. Излучение «вытекающей волны» каждого из участков возмущенного волновода противофазно и взаимно компенсируются. Поэтому кросс поляризованное излучение практически отсутствует в окрестности нормали, но оказывается значительным в

направлениях, близких к осевому. Уровень его может достигать заметной величины.

Как иллюстрация, на Рис. 5 показаны вид антенны и расчетные ДН. Целью является демонстрация эффекта излучения волны поперечной поляризации. Антенна состоит из 35 штыврей, размеры желоба 7.2 x 3.4 мм, частота 36 ГГц, длина штыврей 2.0 мм, высота подвеса 2.4 мм.

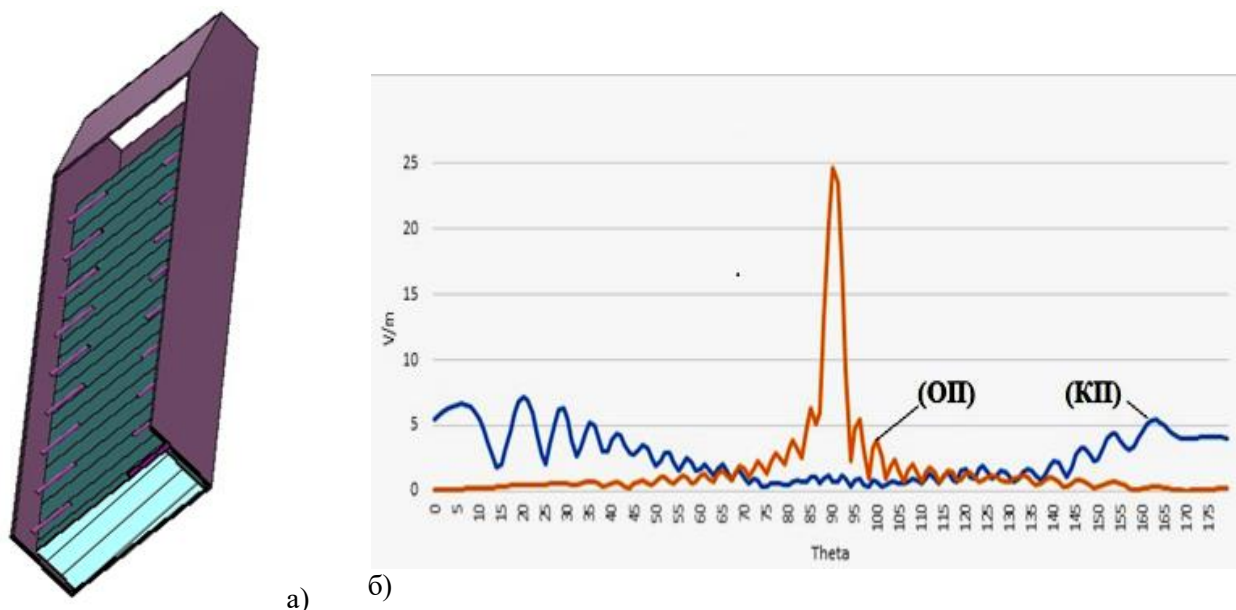


Рис. 5 Антенна с четвертьволновыми штыврями и ДН по основной и кросс поляризации: а) вид антенны, б) ДН по основной и кросс поляризации.

Модифицированная антенна поперечной поляризации

Недостатком антенны [10] является наличие кросс поляризованного излучения в направлениях, близких к оси антенны, которое обусловлено излучением «вытекающей» волны. Несмотря на относительно низкие уровни (уровень кросс поляризации может составлять величину порядка $-(10...15)$ дБ), для антенн с узкой ДН это может приводить к заметному снижению КУ по основной поляризации.

Основой для построения антенны с пониженным уровнем кросс поляризованного излучения является следующее [12]. Рассмотрим диэлектрический желобковый волновод увеличенной высоты, закрытый сверху проводящим материалом (Рис. 7). Если высота волновода превышает значение

граничного радиуса поля (величины порядка удвоенной высоты диэлектрического стержня), наличие верхней «крышки» практически не влияет на процесс распространения электромагнитной волны. В силу симметрии щель, прорезанная в верхней крышке по осевой линии волновода, также не возбуждается полем распространяющейся волны основного типа.

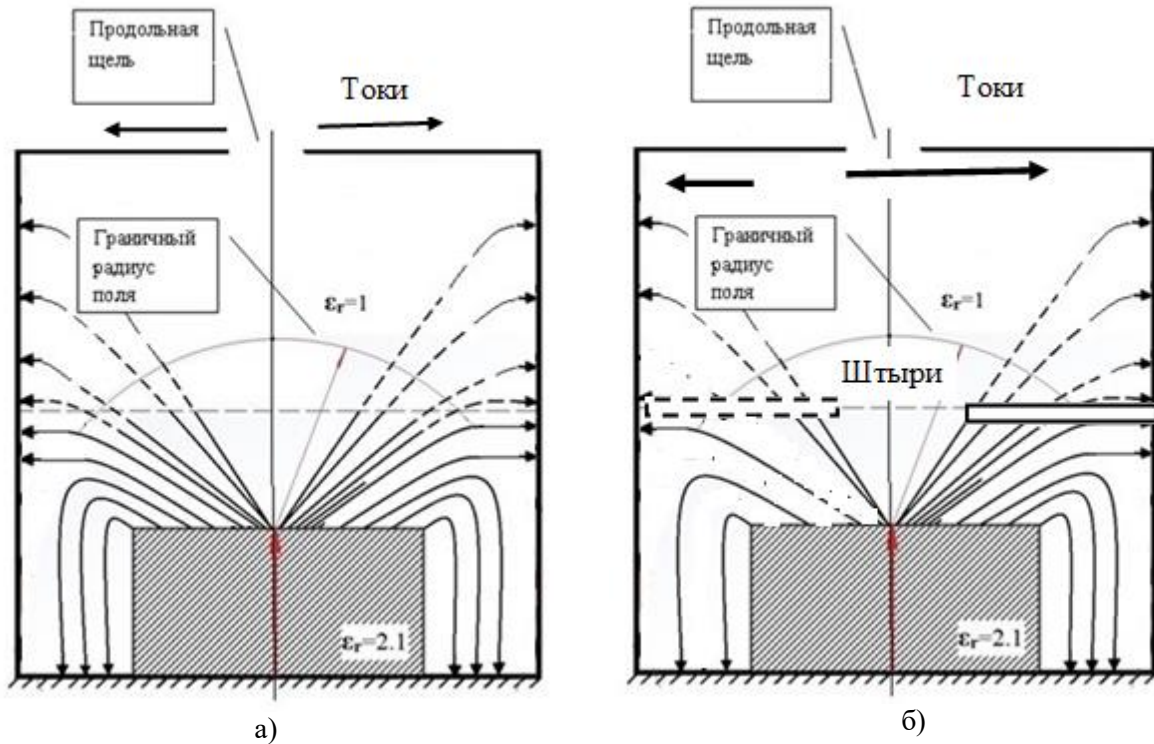


Рис. 6 Распределение электрического поля в поперечном сечении:
 а) однородный волновод, б) волновод со штырями (условно).

При наличии штырей на боковых стенках желоба симметрия поля в поперечном сечении волновода нарушается, приводя к появлению составляющей электрического поля, перпендикулярной щели в верхней крышке. В результате имеет место излучение указанной щели в окружающее пространство с поляризацией, перпендикулярной оси волновода. Ввиду практического отсутствия поперечных токов в плоскости симметрии волновода с продольной щелью, излучение волны с продольной составляющей электрического поля, вызываемой эффектом «вытекания» волны, значительно менее интенсивно. Таким образом, происходит ослабление кросс поляризованной составляющей поля излучения антенны с поперечной поляризацией.

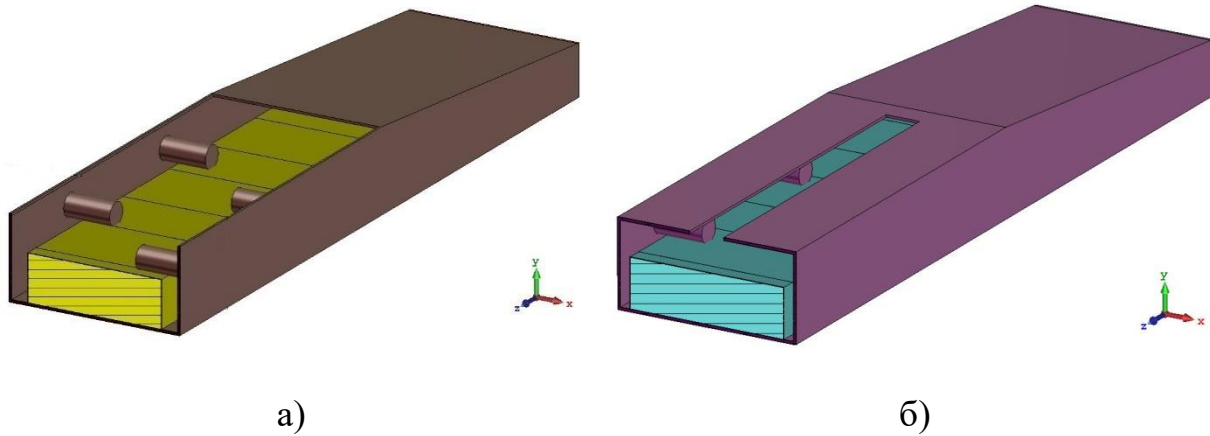


Рис. 7. Модели антенн. а) желобковый волновод, б) волновод увеличенной высоты со щелью в верхней стенке.

Расчеты, проведенные путем электродинамического моделирования в среде CST Microwave Studio, подтверждают достижение эффекта ослабления кросс поляризованного излучения. Ниже приводятся данные для двух вариантов антенн: на желобковом диэлектрическом волноводе и предлагаемой антенны. На рис. 7 показаны моделируемые антенны, на Рис. 8 - расчетные ДН. В обоих вариантах антенны содержат по 35 элементов, расположенных в шахматном порядке с шагом, равным половине длины волны в волноводе. Диэлектрический стержень 5.2 x 2.0 мм, высота подвеса 1.2 мм, размеры желоба 7.2 x 3.4 мм, размеры верхней металлической части закрытого волновода 15.75 x 7,2 мм., частота 36 ГГц.

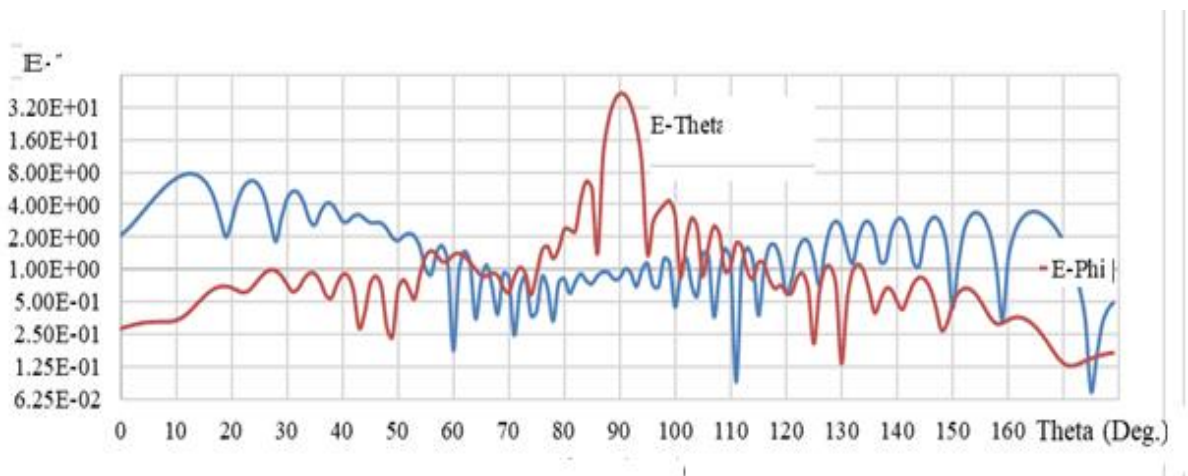


Рис. 8. ДН двух вариантов антенн: 1- антенна на желобковом диэлектрическом волноводе, 2 - антенна на закрытом диэлектрическом волноводе со щелью.

Заключение

1. Путем электродинамического моделирования подтверждена работоспособность антенны с поперечной поляризацией излучения, ранее предложенной в [10].
2. Выявлен основной недостаток указанной антенны: наличие заметного уровня кросс поляризованного излучения в направлениях, близких к оси антенны.
3. Предложена модификация антенны, свободная от указанного недостатка.
4. Путем электродинамического моделирования подтверждена работоспособность предложенных вариантов антенн с поперечной поляризацией излучения.

Литература

1. Lamparello P., Frezza F., Galli A., Vaccarelli P., Burghnoli P., Loyal G., Paulotto S., Valerio G., Jackson D.R. Advances in leaky-wave periodic structures after Oliner's pioneering research. *Proceedings of the 44th European Microwave Conference* 6-9 Oct. 2014, Rome, Italy, pp.433-437.
2. Ю.Е. Седельников, Е. Ю. Олейник, Мохамед Шаабан. Линейные антенные решетки КВЧ диапазона на диэлектрических волноводах. *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2018. № 8. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/aug18/1/text.pdf> DOI 10.30898/1684-1719.2018.8.1
3. Ettore M., Bruni S., Gerini G., Neto A., Llombart N., Maci S. Sector PCS-EBG antenna for low cost high directivity applications. *Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol.6, pp.537-539, Dec. 2007.
4. Останков А.В. Ретроспективный анализ возможностей и основных характеристик дифракционных антенн вытекающей волны. *Вестник ВГТУ*. 2010. Т.6. № 8. с.75-81.
5. Борисов Д.Н., Золотухин А.В., Климов А.И., Нечаев Ю.Б. Исследование характеристик плоских антенных решеток вытекающей волны, рассчитанных

для режима нормального излучения. *Изв. ВУЗов. Сер. Радиоэлектроника* 2013. Т.56, № 10, с. 3-12.

6. Sedelnikov Yu. E., M. N. Shaaban. Ku Band Antenna for Perspective Telecommunication Facilities. *2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE2018)*, Aswan University, Egypt. 2018, pp.190 – 192.

7. Klassen V.I., Oleinik E.U., Sedelnikov Y.E., Shaaban Mohamed. Planar Ku band antenna for perspective telecommunication facilities. *XI International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT)*, Kyiv, Ukraine, 2017, pp.169-170.

8. Watson W.H. *Waveguide transmission and antenna systems*. Clarendon Press, Oxford, 1947, 412p.

9. В. И. Калиничев. Анализ и синтез волноводно-щелевой антенны с заданным амплитудным распределением. *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2015. № 12. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/dec15/8/text.pdf>

10. Седельников Ю.Е. Косоруков В.В. Печатная антенна миллиметровых волн. АС СССР № 1513546 БИ №37, 07.10.1989

11. Взятых В.Ф., Ильченко М.Е. *Диэлектрические волноводы*. М. Радио и связь, 1989, 328 с.

12. Седельников Ю.Е., Скачков В.А., Мохамед Шаабан. Печатная антенна миллиметровых волн. Заявка № 2018142474 от 30.11.2018.

Для цитирования:

Ю. Е. Седельников, Мохамед Шаабан. Линейные антенны на желобковом диэлектрическом волноводе, поляризованные в плоскости, перпендикулярной оси антенны. *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2019. № 7. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jul19/2/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2019.7.2