

## Оптимизация положения плоского спирального излучателя в корпусе антенны, применяемой в составе фазового пеленгатора.

И.Д. Павлов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>АО «Центральное конструкторское бюро автоматики»

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет

**Аннотация:** В настоящей работе рассматривается спиральная антенна миллиметрового диапазона с плоским печатным излучателем. Указанная антенна применяется в составе фазового пеленгатора и в данном случае рассматривается как причина неидентичности приемных каналов. Излучатель может быть установлен в корпус двумя способами. Моделировались оба указанных способа. Цель указанного моделирования заключалась в определении лучшего способа установки из двух рассматриваемых. Критерием выбора был уровень ошибок пеленгации. Результаты проведенного моделирования позволяют сделать вывод о том, что второй способ установки предпочтителен, поскольку получаемый уровень ошибок пеленгации ниже, чем в случае применения первого способа установки.

**Ключевые слова:** плоский спиральный излучатель, фазовый пеленгатор, ошибки пеленгации

### 1. Введение

Одной из причин возникновения ошибок в определении фазовым пеленгатором направления на источник излучения является неидентичность приемных каналов [1]. Антенна – неотъемлемая часть любого приемного канала, и наряду с другими его элементами вносит свой вклад во взаимную неидентичность нескольких приемных каналов в рамках одной системы. В настоящей работе рассмотрена спиральная антенна, применяемая в составе фазового пеленгатора. Излучающей структурой в этой антенне является плоская двухзаходная спираль, выполненная на плате из фольгированного диэлектрика. Указанная плата с излучателем устанавливается в проводящий корпус. Установка возможна двумя способами:

- первый способ предполагает установку платы внутри проводящего корпуса, как показано на рисунке 1;

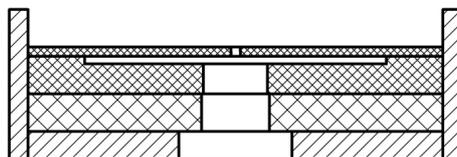


Рисунок 1. Первый способ установки платы излучателя в корпус антенны.

- при втором способе плата устанавливается на одном уровне с краем корпуса, как показано на рисунке 2;

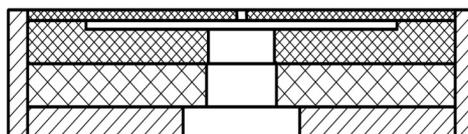


Рисунок 2. Второй способ установки платы излучателя в корпус антенны.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы определить, какой из двух рассматриваемых вариантов установки платы излучателя является наилучшим для применения антенны в составе фазового пеленгатора. Результаты, предложенные в настоящей работе, получены в среде электродинамического моделирования HFSS.

## 2. Теория

В качестве критерия, по которому будет определен лучший вариант установки платы излучателя, выбран уровень ошибок пеленгации, осуществляемой фазовым методом. Но степень влияния указанных способов установки на характеристики антенны и, опосредованно, на ошибки пеленгации, возможно определить с помощью применения матричного подхода [2], [3]. В рамках предлагаемого подхода антенна рассматривается как преобразователь электромагнитной волны свободного пространства в электромагнитную волну в линии передачи. Указанный преобразователь по аналогии с другими сверхвысокочастотными (СВЧ) устройствами может быть описан с помощью аппарата волновых матриц [4]. Вместе с тем, применение матричного аппарата для описания антенны потребует учесть некоторые особенности.

Первая особенность связана с тем, что для преобразователя, которым является антенна, необходимо определить коэффициент передачи. Для чего потребуется как минимум две отсчетных плоскости [4]. Одна из указанных плоскостей будет размещена в разьеме антенны. Для определения второй отсчетной плоскости воспользуемся следующим формальным приемом: в дальней зоне [5] выберем площадку бесконечно малой площади, перпендикулярную радиус-вектору, положение которого определено в системе координат, связанной с антенной. Выбранную площадку будем считать пространственной отсчетной плоскостью, определенной для одного направления.

Вторая особенность состоит в том, что для описания произвольно поляризованной электромагнитной волны потребуется две ортогональные пространственные отсчетные плоскости. Связно это с тем, что любой вектор на плоскости, в том числе и вектор напряженности электрического поля, может быть представлен как векторная сумма ортогональных составляющих.

Третья особенность связана с тем, что посредством предлагаемых пространственных отсчетных плоскостей можно определить матрицу комплексных коэффициентов только для одного пространственного направления и для одной частоты. Для полного описания антенны потребуется набор таких пространственных отсчетных плоскостей и соответствующий им набор матриц комплексных коэффициентов. Здесь также важно пояснить, что далее будет рассматриваться только напряженность электрического поля, поскольку при известном электрическом магнитное поле также может быть найдено.

Описываемая волновая матрица антенны, определенная для одного пространственного направления и одной частоты, может быть представлена следующим образом (1).

$$\begin{pmatrix} \dot{E}_{op} \\ \dot{E}_{\theta o} \\ \dot{E}_{\varphi o} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} & \dot{S}_{12} & \dot{S}_{13} \\ \dot{S}_{21} & \dot{S}_{22} & \dot{S}_{23} \\ \dot{S}_{31} & \dot{S}_{32} & \dot{S}_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{E}_{np} \\ \dot{E}_{\theta n} \\ \dot{E}_{\varphi n} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Рассмотрим физический смысл коэффициентов, составляющих матрицу (1)

$\dot{E}_{op}$  и  $\dot{E}_{np}$  – напряженность электрического поля падающей и отраженной волны в отсчетной плоскости разьема антенны;

$\dot{E}_{\theta o}$  и  $\dot{E}_{\theta n}$  – падающая и отраженная волны в пространственной отсчетной

плоскости для вертикальной поляризации поля;

$\dot{E}_{\varphi o}$  и  $\dot{E}_{\varphi n}$  – падающая и отраженная волны в пространственной отсчетной плоскости для горизонтальной поляризации поля;

$\dot{S}_{11}$  - комплексный коэффициент отражения от разъема антенны.

$\dot{S}_{22}$ ,  $\dot{S}_{33}$  – комплексные коэффициенты отражения, определенные для пространственных отсчетных плоскостей, характеризуют рассеяние антенной электромагнитной волны. Для случаев, при которых рассмотрение взаимного влияния антенн не является первостепенной задачей, допустимо указанные коэффициенты принять равными нулю.

$\dot{S}_{12} = \dot{S}_{21}$ ,  $\dot{S}_{13} = \dot{S}_{31}$  - комплексные коэффициенты передачи для двух ортогональных пространственных отсчетных плоскостей. Поскольку указанные коэффициенты являются комплексными для каждого необходимо найти модуль и аргумент. Для этого потребуется определить их через характеристики антенны. Физический смысл модуля комплексного коэффициента передачи соответствует такой характеристике, как коэффициент калибровки [6] который может быть определен через коэффициент усиления [5]. Аргумент комплексного коэффициента передачи может быть определен как отсчет фазовой диаграммы направленности антенны [5], соответствующий выбранному пространственному направлению.

$\dot{S}_{23}$  и  $\dot{S}_{32}$  – комплексные коэффициенты передачи, определяемые для пространственных отсчетных плоскостей. В силу ортогональности поляризаций, для которых определены указанные отсчетные плоскости, между ними невозможна передача мощности. Невозможность передачи мощности означает, что указанные коэффициенты равны нулю.

С учетом определений составляющих ее коэффициентов волновая матрица (1) примет следующий вид (2).

$$\begin{pmatrix} \dot{E}_{op} \\ \dot{E}_{\theta o} \\ \dot{E}_{\varphi o} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{S}_{11} & \dot{S}_{12} & \dot{S}_{13} \\ \dot{S}_{21} & 0 & 0 \\ \dot{S}_{31} & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{E}_{np} \\ \dot{E}_{\theta n} \\ \dot{E}_{\varphi n} \end{pmatrix} \quad (2)$$

С помощью предлагаемого матричного аппарата возможно осуществлять сравнение антенн в рамках одной партии [3] или оценивать влияние конструктивных изменений относительно исходного варианта. В настоящей работе с помощью матричного аппарата оценивается влияние конструктивных изменений. Указанная оценка осуществляется следующим образом, для исходного варианта антенны определяется набор волновых матриц, описанных выше. Для каждой матрицы из рассматриваемого набора находится такой параметр, как  $l$ - норма, которая является максимумом абсолютных сумм каждого столбца [7]. Далее аналогичные действия проводятся с антенной, имеющей конструктивные отличия относительно исходной. Полученные в результате  $l$ - нормы матриц, характеризующих антенны, будут отличаться. Наблюдаемая разница  $l$ - норм в данном случае является численным выражением влияния внесенных изменений на характеристики рассматриваемой антенны. В случае же сравнения серийных антенн между собой разница  $l$ - норм покажет отличия между антеннами.

### 3. Эксперимент

Основой для моделирования являлась антенна, описанная в [8] и [9]. Общий вид модели приведен на рисунке 3.

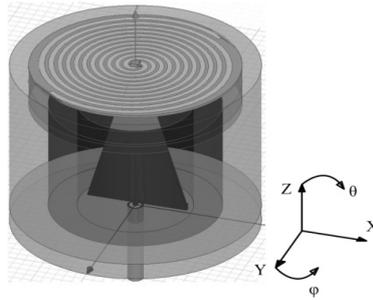


Рисунок 3. Общий вид модели антенны.

Моделирование проводилось миллиметровой области длин волн на частоте из верхней трети рабочего диапазона антенны. Для каждого из рассматриваемых способов были сформированы матрицы рассеяния для пространственных направлений  $\theta = 40^\circ, \varphi = 0^\circ$   $\theta = -40^\circ, \varphi = 0^\circ$ , определенных в системе координат, связанной с антенной. Указанные матрицы сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Волновые матрицы для двух способов установки платы излучателя

1 способ установки		2 способ установки	
$\theta = 40^\circ, \varphi = 0^\circ$	$\theta = -40^\circ, \varphi = 0^\circ$	$\theta = 40^\circ, \varphi = 0^\circ$	$\theta = -40^\circ, \varphi = 0^\circ$
$\begin{pmatrix} -26e^{-137} & 1e^{20} & 0,6e^{94} \\ 1e^{20} & 0 & 0 \\ 0,6e^{94} & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -26e^{-137} & -1,4e^{32} & -1,4e^{98} \\ -1,4e^{32} & 0 & 0 \\ -1,4e^{98} & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -14e^{154} & 1,6e^{22} & 0,8e^{107} \\ 1,6e^{22} & 0 & 0 \\ 0,8e^{107} & 0 & 0 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -26e^{-137} & -0,6e^{29} & -1e^{110} \\ -0,6e^{29} & 0 & 0 \\ -1e^{110} & 0 & 0 \end{pmatrix}$

В таблицу 2 сведены значения  $l$ - норм.

Таблица 2.  $l$ - нормы волновых матриц рассматриваемых способов установки платы

1 способ установки		2 способ установки	
$l$ - норма для $40^\circ$	$l$ - норма для $-40^\circ$	$l$ - норма для $40^\circ$	$l$ - норма для $-40^\circ$
38,8	40,3	21,8	20,8

Следующий этап состоял в проверке влияния способов установки платы излучателя на ошибки пеленгации фазовым методом. Для проверки использовалась фазометрическая база, являющаяся простейшим случаем фазового пеленгатора. Определение направления на источник излучения осуществлялось в двух угловых секторах  $\theta$  от  $-42$  до  $-38$  градусов и  $\theta$  от  $38$  до  $42$  градусов. Угловые зависимости ошибок пеленгации для двух рассматриваемых угловых диапазонах приведены на рисунках 4 и 5.

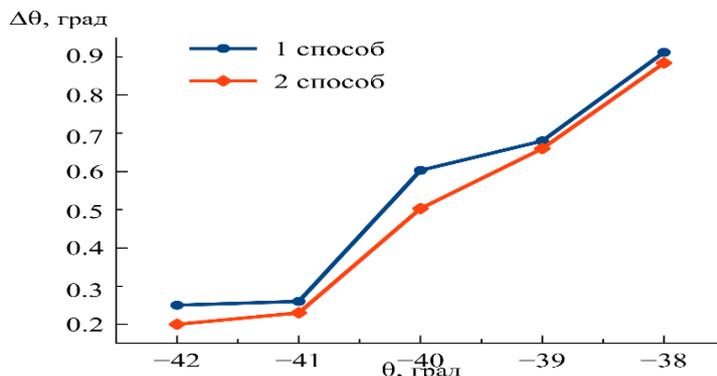


Рисунок 4. Ошибок пеленгации для углового диапазона от -38 до -42 градусов.

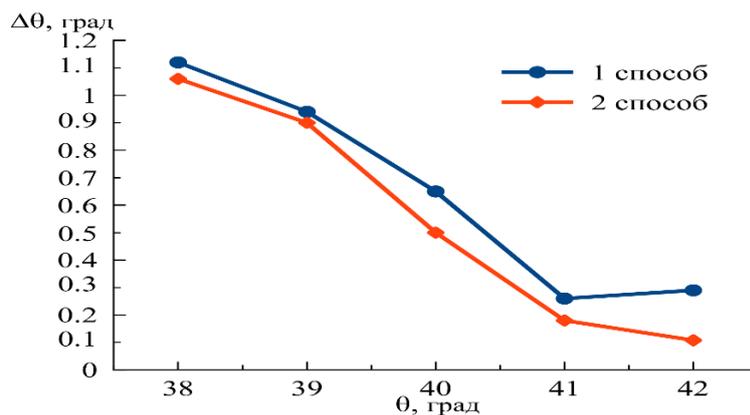


Рисунок 5. Ошибки пеленгации для углового диапазона от 38 до 42 градусов.

#### 4. Заключение

В результате проделанной работы можно прийти к выводу о том, что в случае применения рассматриваемой антенны в составе фазового пеленгатора стоит использовать второй способ установки платы излучателя в корпус, поскольку он характеризуется меньшим уровнем ошибок пеленгации. Это показано на рисунках 4 и 5. Вывод о том, что изменение способа установки платы излучателя в корпус изменит характеристики антенны, можно сделать и с помощью предложенного матричного подхода, по наблюдаемой разности  $l$ - норм, приведенных в таблице 2. Но заключение о влиянии конструктивных изменений антенн на ошибки пеленгации возможно сделать только после проверки в составе пеленгатора. К вероятной причине повышения уровня ошибок пеленгации при использовании первого способа установки можно отнести то, что он предполагает погружение платы излучателя в корпус. На углах, рассматриваемых в данной работе, это вызывает некоторое затенение области излучения, что и приводит к обозначенному эффекту.

#### Список литературы

1. Денисов В.П., Д.В. Дубинин Фазовые радиопеленгаторы. – Томск.: ТГУСУР, 2002. – 251 с.
2. Павлов И.Д. Матричная модель антенной фидерного устройства // Сборник докладов конференции нанотехнологии. Информационная. Радиотехника. – 2021 – С. 30-34.
3. Павлов И.Д. Применение матричного подхода к описанию антенны для определения ее влияния на точность пеленгации фазовым методом// Электроника и микроэлектроника СВЧ – 2021 – Т. 1. – С.135-139.
4. Дансмор Джоэль П. Измерения параметров СВЧ-устройств с использованием передовых методик векторного анализа цепей. - М.: Техносфера, 2018. – 736 с.
5. Антохина Ю.А., Крячко А.Ф., Ковалев А.С. Синтез характеристик антенн по измерениям в ближней зоне: монография – СПб.: ГУАН, 2016. – 309 с.
6. ГОСТ 16-1-4-2013. Требования к аппаратуре для измерения параметров промышленных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. – М.: Стандартинформ, 2014. – 73 с.
7. Пупков К. А., Егупов Ю.Л., Лукашенко Ю.Л. Матричные методы расчета и проектирования сложных систем автоматического управления для инженеров. - М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – 664 с.
8. Павлов И.Д. Электродинамическое моделирование и расчет широкополосной малогабаритной спиральной антенны миллиметрового диапазона// Омский научный вестник. – 2017. - №5. – с. 152-158.
9. Пат. 2673319 РФ, МПК Н 01 Q 1/00. Спиральная антенна/ Д.Д. Кохнюк, (РФ) И.А.Боровик, (РФ) Я.В. Федоров (РФ), И.Д. Павлов (РФ), И.Н. Звягинцев (РФ), В.В. Волчонков (РФ). - №2673319; заявл. 16.01.18; опубл. 23.11.18, бюл. № 33. – 2 с