- исследований: перспективы развития. Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 135 – 140.
3. Магамедова А.З. Разработка приложений с использованием системы программирования VBA в программе MS EXCEL // Известия Чеченского государственного университета. – 2018. – № 2 (10). – С.18 – 23.
 4. «Шахматы» Чокаев Б.В., Магамедова А.З // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2018664456. 2018.
 5. «Иллюстратор функций машинной графики» Чокаев Б.В., Магамедова А.З. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2019610239. 2019.

Спиридонов Д.В., Шевченко А.В., Захаров В.А.

Проведение лабораторных исследований характеристик антенной системы спирального типа и экономическое обоснование её реализации

*Донской государственный технический университет
(Россия, Ростов-на-Дону)*

doi: 10.18411/lj-08-2020-06

idsp: ljjournal-08-2020-06

Аннотация

Используя ранее разработанную методику расчёта регулярной цилиндрической спиральной антенны (далее – ЦСА), которую разрабатывали применительно к направленным средствам защиты информации, произведена практическая сборка антенны и проверено соответствие математических расчётов реальным лабораторным измерениям характеристик антенны, так же проведено экономическое обоснование практической реализации макета антенны.

Ключевые слова: приёмная антенна, предающая антенна, диаграмма направленности, поляризация, экономическая целесообразность.

Abstract

Using the previously developed method for calculating a regular cylindrical spiral antenna (hereinafter referred to as CSA), which was developed in relation to directional means of information protection, the antenna was practically assembled and the correspondence of mathematical calculations to real laboratory measurements of antenna characteristics was checked, and an economic justification for the practical implementation of the antenna layout was carried out.

Keywords: receiving antenna, transmitting antenna, radiation pattern, polarization, economic feasibility.

В области технической защиты информации, применяется большое множество различного оборудования, относящегося к измерительному, поисковому, исследовательскому и защитному оборудованию. Каждый тип оборудования используется по своему функциональному назначению. То оборудование, где требуется приём или наоборот излучение информативных и информационных сигналов преобразованных в электромагнитную волну нуждаются в качественных антенных системах, реализация которых иногда желает оставлять лучшего. Ранее была разработана и предложена математическая методика расчёта цилиндрической спиральной антенны, но так как алгоритмов и методов много, то чётко систематизированных и доказанных на практике мало. По предложенной методике был сконструирован макет ЦСА и проведены лабораторные исследования соответствия её характеристик заданным исходным данным, тем самым проверена правильность метода расчёта системы.

Исходные данные на разработку антенной системы: 1) диапазон рабочих частот $F=0,95-2,85$ ГГц; 2) диаметр основания антенны $D=50$ мм; 3) диаметр сечения проводника антенны $d=3,5$ мм; 4) ширина диаграммы направленности не более $ДН=50$

град; 5) оптимальный угол намотки (угол возвышения) $\alpha=14$ град; 6) коэффициент перекрытия: $K_{\Pi} = 2$.

Практические лабораторные исследования характеристик направленности спиральной антенны.

Графическое представление диаграммы направленности, рассчитанное в программе Mathcad:

$$\left. \begin{aligned} f_{\varphi_{\text{хоз}}} &= j_0(Ra \sin Q) \frac{\sin(v\pi N)}{v^2 - 1} \cos Q \\ f_{\varphi_{\text{хоз}}} &\approx j_0(Ra \sin Q) \frac{\sin(v\pi N)}{v^2 - 1} v \\ f_{\varphi_{\text{юз}}} &\approx j_0(Ra \sin Q) \frac{\sin(v\pi N)}{v^2 - 1} v \cos Q \\ f_{\varphi_{\text{юз}}} &\approx j_0(Ra \sin Q) \frac{\sin(v\pi N)}{v^2 - 1} \end{aligned} \right\}$$

Выражения для расчета диаграммы направленности

Рисунок 1 – Диаграмма направленности в полярных координатах

Рисунок 2 – Нормированная диаграмма направленности в логарифмическом масштабе

Рисунок 3 – Схема лабораторной установки

Из рисунка видно, что уровень боковых лепестков является достаточно маленьким, значит можно сделать вывод, что данная антенна удовлетворяет исходным заданным техническим требованиям и все расчёты выполнены правильно.

Из графика с полярными координатами видно, что угол диаграммы направленности находится в допустимых пределах и можно увидеть, что он составляет 57 градусов, а уровень боковых лепестков достаточно мал.

После проведения программных исследований характеристик дальнейшее исследование данной антенны проводилось в лабораторных условиях. Объектом исследования антенны было измерение её диаграммы направленности, которая является важным численным параметром и характеризует её степень направленности.

Диаграмма направленности по напряжённости поля (“по полю”) $f(\Theta, \varphi)$ называется представленная графически зависимость амплитуды напряжённости поля, излучаемого антенной, от пространственных углов Θ и φ при постоянном расстоянии до точек наблюдения и неизменных условиях возбуждения антенны.

Измерение диаграммы снимались при работе исследуемой антенны в режиме приёма, так как согласно принципу взаимности антенна имеет совершенно одинаковые

диаграммы направленности в режиме приёма и в режиме передачи. Вспомогательная антенна, которая является передающей, может быть и являлась неподвижной.

На рисунке 3 представлена принципиальная схема применяемой лабораторной установки. Она состоит из генератора высокочастотных колебаний (1), вспомогательной рупорной антенны (2), измеряемой спиральной антенны с детекторной секцией (3), соединительных кабелей и индикаторного прибора (4), который в этом случае представляет микроамперметр В6 – 9.

Измерения проводились в плоскостях Еф и ЕО. Каждые полученные значения по каждому значению угла поворота исследуемой антенны были просуммированы, с целью получения среднего измеряемого значения и пронормированы, для построения нормированной ДН.

Под нормированной ДН понимается отношение значения ДН в произвольном направлении к максимальному значению ДН. Нормированную ДН обозначают так:

$$F(\theta, \varphi) = \frac{F(\theta, \varphi)}{F_{\max}(\theta, \varphi)} = \frac{E(\theta, \varphi)}{E_{\max}(\theta, \varphi)}$$

Расстояние между установками измерений выбирались исходя из выражения для минимально допустимого расстояния: $R_{\min} = \frac{L^2}{\lambda}$, где L – наибольший размер антенны,

$$\lambda - \text{длина волны, } R_{\min} = \frac{5^2}{15,8} \approx 1,6 (\text{м});$$

Полученное значение означает, что минимальное расстояние между антеннами должно быть не менее 1.6 метра, чем это расстояние больше, тем качество измерений показателей выше, в нашем случае, исходя из размеров лаборатории, это расстояние равнялось 7 метрам.

Измерение проводилось на средней частоте рабочего диапазона, которая составляла 1.89ГГц, а рассчитанная частота составляет 1.9ГГц, т. е. реальная средняя частота практически совпала с рассчитанным значением частоты.

Коэффициент поляризации, рассчитываемый по формуле: $p \approx E_{\theta}/E_{\varphi}$, равен $p \approx 0,94/1 \approx 0,9$

Полученные измеренные значения находятся в таблице №1 и построенные по этим значениям диаграмма направленности в плоскостях Еф на рисунке № 4 и в плоскости ЕО на рисунке № 5.

Таблица №1

Значение угла поворота	Значения Еф, мкВ			Усреднённое значение	Нормированное значение	Значение ЕО, мкВ			Усреднённое значение	Нормированное значение
0	1.5	1.5	1.5	1.5	0.007	1.5	1.5	1.5	1.5	0.01
5	10	7	7	8	0.038	5.5	5	4.5	8	0.038
10	25	2	19	22	0.1	12	12	14	12.7	0.097
15	27	29	27	27.6	0.13	21	19	21	20.3	0.16
20	25	27	27	26.3	0.125	16	18	18	17.3	0.13
25	25	20	20	21.6	0.1	11	11	12	11.3	0.086
30	8	7	7	7.3	0.03	7.5	7	7	7.2	0.055
35	3.7	4	4.5	4.1	0.02	8	8	9	8.3	0.06
40	40	43	37	40	0.2	7	7	9	7.7	0.06
45	100	100	90	96.6	0.46	7	6	9	7.3	0.06
50	120	110	100	110	0.52	12	12	14	12.7	0.1
55	90	90	75	85	0.4	20	20	25	21.7	0.17
60	35	44	30	36.3	0.17	25	25	30	26.7	0.2
65	18	18	16	17.3	0.08	20	23	25	22.7	0.17

70	30	30	37	32.3	0.15	20	20	20	20	0.15
75	73	78	80	77	0.3	35	33	33	33.7	0.26
80	125	125	130	126.6	0.6	60	50	60	56.7	0.44
85	180	170	170	173	0.8	90	90	95	91.7	0.7
90	220	200	210	210	1	120	120	125	121.7	0.94
95	220	190	200	203.3	0.97	120	130	140	130	1
100	195	160	175	176.7	0.84	110	125	130	121.7	0.9
105	150	130	135	138.3	0.65	75	90	90	85	0.65
110	90	75	87	84	0.4	30	40	35	11.7	0.09
115	40	37	40	39	0.19	2.5	4.3	5	3.9	0.03
120	10	9	10	9.7	0.046	5.5	3.5	5.7	4.9	0.04
125	9	6	7	7.3	0.03	29	26	26	27	0.2
130	23	30	29	27.3	0.13	30	37	33	33.3	0.25
135	55	55	50	53.3	0.25	20	28	27	25	0.2
140	54	55	55	54.7	0.26	10	18	15	14.3	0.1
145	32	30	29	30.3	0.14	7	9	7	7.7	0.06
150	6	3.5	4	4.5	0.02	7	7	7	7	0.05
155	1.5	1.5	1.5	1.5	0.007	8	9.5	7.5	8.3	0.06
160	6	6	6.3	6.1	0.03	8	8	7	7.7	0.06
165	8.5	8	8	8.2	0.04	5.5	5	5	5.2	0.04
170	22	20	22	20.1	0.09	3.5	3	2.8	9.3	0.07
175	37	35	33	35	0.16	4	2	1.5	2.5	0.02
180	25	30	27	27.3	0.12	9	4	4	5.7	0.04

Рисунок 4 - Диаграмма направленности в плоскости Еφ

Из графика видно, что антенна обладает хорошей направленностью и также виден малый уровень боковых лепестков, что соответствует исходным заданным техническим требованиям. Ширина диаграммы направленности по уровню поля 0.707 составляет 20 градусов, т. е. по половине мощности равна 20 градусов, но она слегка смещена относительно направления 90 градусов.

Рисунок 5 – Диаграмма направленности в плоскости ЕΘ

Из графика видно, что как и в предыдущем графике главный лепесток ДН смещён на 5 градусов относительно направления 90 градусов, т. е. оси антенны. Возможно, для более точной ориентации ДН относительно оси нужно произвести более точную намотку витков спирали. Ширина ДН главного лепестка составляет 22 градуса.

Из анализа графиков ДН можно сделать вывод, что антенна соответствует произведённым расчётам, а следовательно они являются верными, также она удовлетворяет исходным заданным техническим требованиям по уровню боковых лепестков и направленности. Также видно соответствие практики с теорией спиральных антенн, т. е. видно что чем больше витков спирали тем уже ДН, которая имеет направление вдоль оси антенны, в данной антенне их 10, а поляризация антенны близка к круговой и равна 0.9, поляризация также зависит от количества витков спирали. Сама ДН получилась в два раза уже рассчитанной, что можно отнести к положительному эффекту, это значит, при применении её в составе НРЛ поиск СНСИ можно осуществлять более локально. Для более точной ориентации ДН относительно направления 90 градусов (относительно оси антенны), она отклоняется на 5 градусов, нужно произвести более точную намотку витков спирали, данное отклонение является не существенным.

Описание подхода по обоснованию экономической целесообразности

Предлагаемое в данной статье изделие, как объект оценки экономической целесообразности имеет ряд технических преимуществ, позволяющая упростить

экономические расчеты, так как конструкция легко выполнима без использования промышленного станкового оборудования. Это позволяет в рамках допустимой точности определить экономическую целесообразность предлагаемого технического решения по стоимостному показателю, учитывая при этом стоимость конструкционных материалов с одной стороны и стоимость промышленных образцов, наиболее близко соответствующих предлагаемой конструкции.

В ниже приведённой таблице указаны наименования деталей, их количество, цена, стоимость. На основе этих данных производится расчёт стоимости антенного устройства.

Таблица №2.

Стоимость деталей антенны

№ п/п	Элемент	Ед. измерения	Количество	Стоимость 1ед.(руб.)	Стоимость (руб.)
1.	Проводник	м	2	70	140
2.	Труба	м	0,3	52	15,6
3.	Клей для пластика	шт.	1	229	229
4.	Коаксиальный кабель, 50 Ом	м	1	50	50
5.	Разъём BNC	шт.	1	50	50
6.	Лист жести	м ²	0,0016	204	0,3264
7.	флюс для пайки меди	шт.	1	187	187

Общая стоимость устройства для указанного значения может быть рассчитана по формуле:

$$Cm_{\Sigma} = Cm_{каркаса} + Cm_{клея} + Cm_{каб} + Cm_{разъёма} + Cm_{проводн} + Cm_{рефл} + Cm_{флюс}$$

где Cm_{Σ} - суммарная стоимость антенны руб.;

$Cm_{каркаса}$ - стоимость каркаса руб.;

$Cm_{клея}$ - суммарная стоимость клея руб.;

$Cm_{каб}$ - суммарная стоимость кабеля руб.;

$Cm_{разъёма}$ - стоимость разъёма руб.;

$Cm_{проводн}$ - суммарная стоимость проводника руб.;

$Cm_{рефл}$ - стоимость рефлектора руб.

$$Cm_{\Sigma} = 15,6 + 229 + 50 + 50 + 140 + 0,32 + 187 \approx 672 \text{ р.}$$

Проведем сравнение полученной стоимости со стоимостью антенны, аналогичного промышленного устройства. Антенно-фидерное устройство нелинейного радиолокатора по стоимости составляет 30% от общей стоимости всего устройства. Стоимость отечественного нелинейного радиолокатора NR 2000 составляет 450 тыс.р., значит стоимость антенно-фидерного устройства составит 135 тыс.р.

Выводы. Предложенная методика расчёта ЦСА позволяет реализовать исходные заданные технические требования к ЦСА применительно, что подтвердили практические испытания антенны. Финансовая цена реализации антенной системы при заданных технических требованиях не высока.

1. В.Н. Ловеров, В.Е. Ямайкин, В.Н. Ковалёв «Основы проектирования антенных устройств СВЧ./МВИЗРУ ПВО», Минск 1970.
2. К. Ротхаммель «Антенны», Том 2 /Данвел, Москва 2007.
3. Ю.Т.Зырянов, П.А..Федюнин, О.А..Белоусов «Антенны», Тамбов, Из-дательство ТГТУ 2014.