

## НЕНАПРАВЛЕННАЯ В АЗИМУТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ АНТЕННА ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Представлены результаты разработки антенн с круговой поляризацией поля излучения, ненаправленной диаграммой направленности в азимутальной плоскости и узкой диаграммой направленности в угломестной плоскости при смещении максимума излучения от линии горизонта на угол от  $0^\circ$  до  $30^\circ$ .

**Ключевые слова:** нерегулярная спиральная антенна, ненаправленная диаграмма направленности, круговая поляризация, телекоммуникационные системы.

I. L. AFONIN, V. V. GOLOVIN, YU. N. TYSCHUK  
FSAEIHЕ «Sevastopol State University», Sevastopol

### THE NON-DIRECTIONAL IN THE AZIMUTH PLANE ANTENNA FOR TELECOMMUNICATION SYSTEMS

**Annotation.** The results of the development of antennas with circular polarization are presented. The distinctive features of antennas are follows: the non-directional radiation pattern in the azimuthal plane and a narrow radiation pattern in the elevation plane while shifting the emission maximum of the horizon line at an angle from  $0^\circ$  to  $30^\circ$ .

**Keywords:** irregular helix antenna, omni-directional radiation pattern, circular polarization, telecommunications systems.

#### Введение

На сегодняшний день в морских и сухопутных телекоммуникационных системах широкое применение находят мобильные комплексы, работающие в микроволновом диапазоне частот в пределах прямой видимости в некоторой зоне покрытия сети ретрансляторов и базовых станций. При организации такой сети большое внимание уделяется выбору антенного оборудования с точки зрения обеспечения оптимального баланса цены-качества.

Традиционное использование в составе ретрансляторов ненаправленных антенн линейной поляризации с узкой диаграммой направленности в азимутальной плоскости [1] позволяет создать зону доступа с определенным радиусом, причем по мере удаления от антенны скорость работы абонентского оборудования будет уменьшаться из-за потерь мощности электромагнитных волн в канале связи. Эти потери обусловлены в том числе рассогласованием по поляризации между электромагнитной волной и приемной антенной, вызванное деполяризацией электромагнитной волны и произвольным положением приемной антенны (мобильного терминала). Для расширения зоны доступа или увеличения скорости работы системы на внешнем периметре этой зоны необходимо либо уменьшать ширину главного луча диаграммы направленности антенны в азимутальной плоскости, либо использовать в составе ретранслятора ненаправленную в азимутальной плоскости антенну с круговой поляризацией поля излучения. В первом случае необходимо увеличивать габариты и стоимость антенной системы, во втором случае необходимо выполнить требования по массогабаритным параметрам антенной системы и по ветровой нагрузке.

Известна разработка ненаправленной антенны круговой поляризации [2]. Антенна состоит из двух излучателей линейной поляризации и системы возбуждения. Два излучателя расположены соосно относительно друг друга. Один из излучателей представляет собой симметричный вибратор, плечи которого представляют собой два соосных полых цилиндра, каждый длиной немного более четверти длины волны. Второй излучатель образован двумя продольными щелями, прорезанными в стенках цилиндров со стороны их внешних торцов на глубину четверти длины волны. Однако данная антенна характеризуется сложной системой возбуждения и относительно низкой направленностью излучения в угломестной плоскости.

Поэтому разработка надежной в эксплуатации, конструктивно простой, малогабаритной антенны с ненаправленной в азимутальной плоскости диаграммой направленностью и с круговой поляризацией поля излучения является актуальной задачей, имеющей большое практическое значение.

#### Цель работы

Целью настоящей работы является разработка и исследование малогабаритной нерегулярной четырехзаходной цилиндрической спиральной антенны с ненаправленным излучением в азимутальной плоскости.

#### Основная часть

Рассмотрим четырёхзаходную нерегулярную ЦСА (рис. 1) [3]. Геометрия каждого из заходов спиральной антенны для правосторонней или левосторонней намоткой в параметрической форме описывается соответствующими соотношениями, приведенными в таблице 1.

На входы четырех спиральных заходов подаются токи  $i_1, i_2, i_3, i_4$ :

$$i_1 = I_{01} e^{j\varphi_1}, i_2 = I_{02} e^{j\varphi_2}, i_3 = I_{03} e^{j\varphi_3}, i_4 = I_{04} e^{j\varphi_4},$$

где  $I_{01}, I_{02}, I_{03}, I_{04}$  — амплитуды токов, подводимых ко входам соответствующих по номеру заходов;  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  — начальные фазы токов, подводимых ко входам соответствующих по номеру заходов.

Для возбуждения спиральных заходов амплитуды токов, подводимых на входы соответствующих спиральных заходов, выбираются из соотношения

$$I_{01} = I_{02} = I_{03} = I_{04} .$$

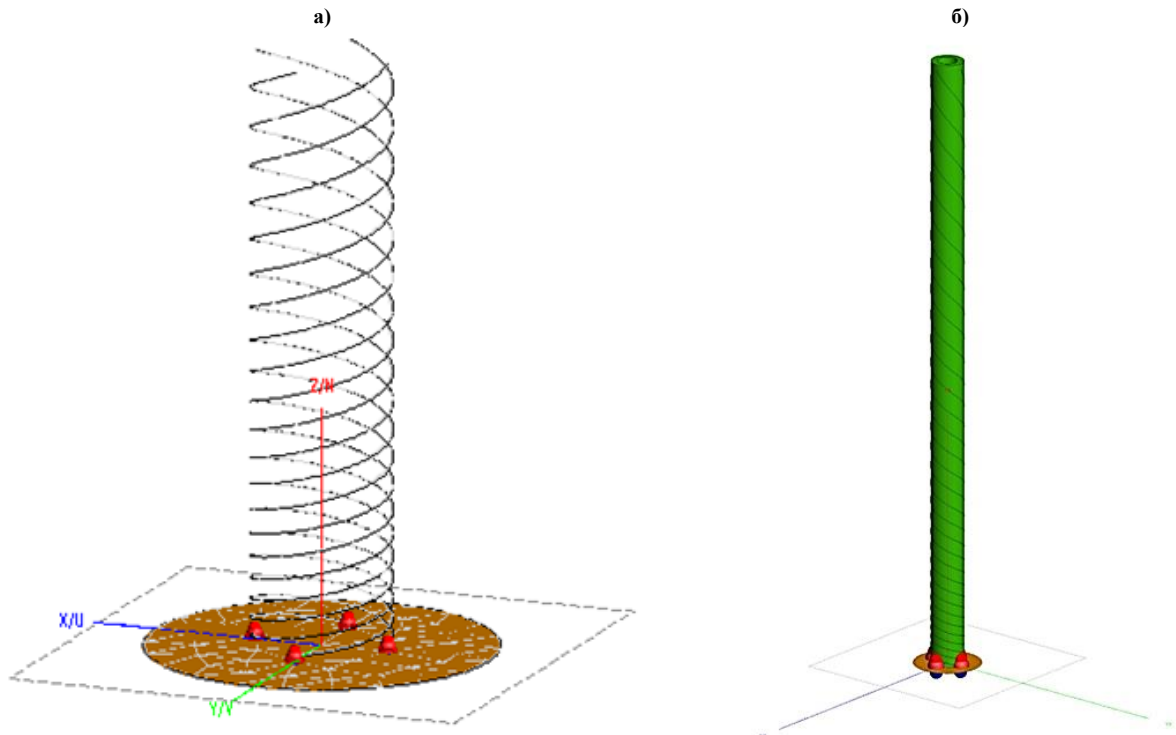


Рис. 1. Упрощенная трехмерная модель четырехзаходной нерегулярной ЦСА в САПР FEKO (а) и уточненная модель, выполненная с учетом диэлектрического несущего цилиндрического каркаса (б)

Поляризационная структура поля излучения четырехзаходной цилиндрической спиральной антенны определяется соотношениями начальных фаз токов, подводимых ко входом каждого из четырех спиральных излучателей. Для возбуждения каждого из четырех спиральных излучателей начальные фазы токов выбираются относительно друг друга в квадратуре и в определенной последовательности, указанной в таблице 2.

В основном при построении на основе спиральных излучателей антенных систем с круговой поляризацией излучения направление намотки проводников выбирается согласованным с требуемым направлением вращения вектора напряженности электрического поля.

Таблица 1

**Геометрические параметры спиральных заходов**

	Правосторонняя намотка спиральных заходов	Левосторонняя намотка спиральных заходов
1 спиральный заход	$x(\alpha) = a \cos \alpha;$ $y(\alpha) = a \sin \alpha;$ $z(\alpha) = a \operatorname{tg} \beta(\alpha).$	$x(\alpha) = a \cos \alpha;$ $y(\alpha) = -a \sin \alpha;$ $z(\alpha) = a \operatorname{tg} \beta(\alpha).$
2 спиральный заход	$x(\alpha) = -a \sin \alpha;$ $y(\alpha) = a \cos \alpha;$ $z(\alpha) = a \operatorname{tg} \beta(\alpha).$	$x(\alpha) = a \sin \alpha;$ $y(\alpha) = a \cos \alpha;$ $z(\alpha) = a \operatorname{tg} \beta(\alpha).$
3 спиральный заход	$x(\alpha) = -a \cos \alpha;$ $y(\alpha) = -a \sin \alpha;$ $z(\alpha) = a \operatorname{tg} \beta(\alpha).$	$x(\alpha) = -a \cos \alpha;$ $y(\alpha) = a \sin \alpha;$ $z(\alpha) = a \operatorname{tg} \beta(\alpha).$
4 спиральный заход	$x(\alpha) = a \sin \alpha;$ $y(\alpha) = -a \cos \alpha;$ $z(\alpha) = a \operatorname{tg} \beta(\alpha).$	$x(\alpha) = -a \sin \alpha;$ $y(\alpha) = -a \cos \alpha;$ $z(\alpha) = a \operatorname{tg} \beta(\alpha).$

**Примечание.** В таблице 1 используются обозначения:

$\alpha$  — центральный угол, изменяющийся от 0 до  $2\pi n$ ,

$n$  — количество витков спирали,  
 $\beta(\alpha)$  — угол намотки витков спирали, который изменяется от  $\beta_{\text{нач}}$  до  $\beta_{\text{кон}}$  по некоторому закону в зависимости от  $\alpha$ ,

$$a = \frac{d}{2}, d — \text{диаметр образующего цилиндра.}$$

Таблица 2

**Фазы токов, подводимых ко входам спиральных заходов**

Начальные фазы токов	Правосторонняя намотка		Левосторонняя намотка	
	$E_{\text{прав}}$	$E_{\text{лев}}$	$E_{\text{лев}}$	$E_{\text{прав}}$
$\varphi_1$ , град	0	0	0	0
$\varphi_2$ , град	270	90	90	270
$\varphi_3$ , град	180	180	180	180
$\varphi_4$ , град	90	270	270	90

Однако, в разработанной антенне начальные фазы токов выбираются для формирования круговой поляризации излучения не согласованной по направлению вращения с направлением намотки спиральных излучателей. То есть при правосторонней намотке спиральных излучателей формируется левосторонняя круговая поляризация и наоборот.

Исследуемые антенны имеют правостороннюю намотку, то есть основная поляризация — левосторонняя.

Расчеты диаграмм направленности (ДН) нерегулярной четырехзаходной цилиндрической спиральной антенны (Н4ЦСА) проводились в диапазоне частот 2,1—2,6 ГГц.

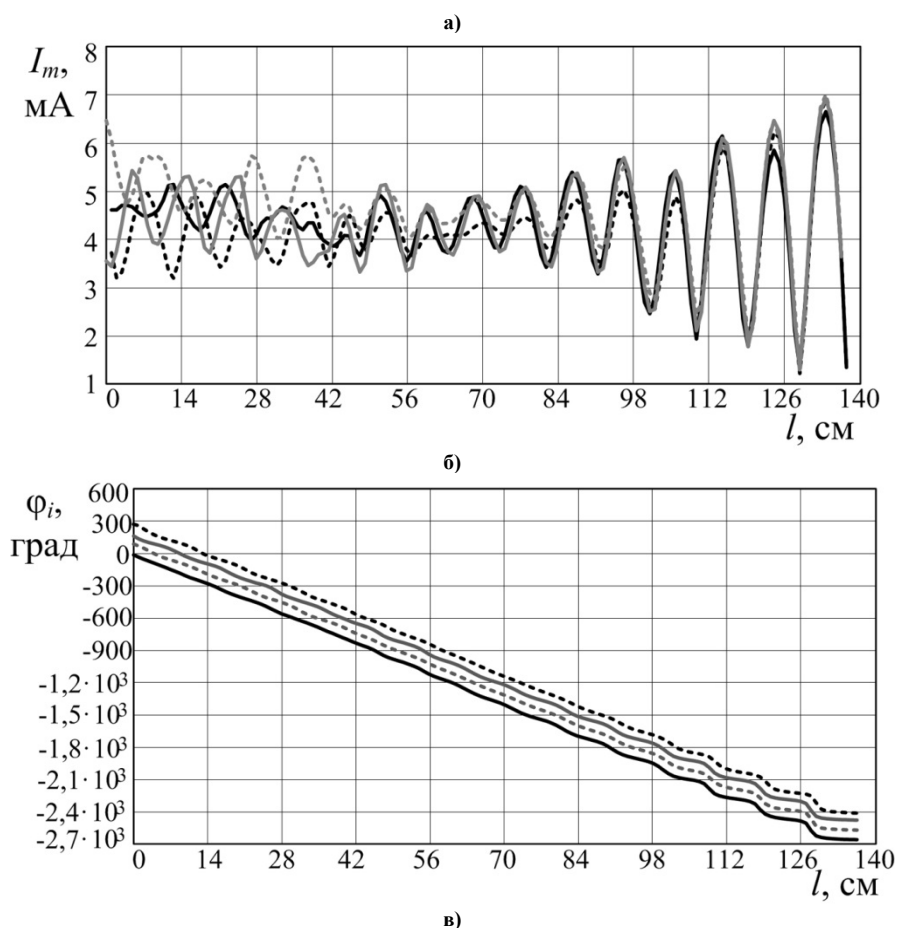


Рис. 2. Распределение амплитуд (а) и фаз (б) токов вдоль четырех нерегулярных спиральных проводников и общее представление распределения амплитуд токов в Н4ЦСА (в)

На основании проведенных исследований выделены следующие группы геометрических параметров Н4ЦСА, показанные в таблице 3.

Таблица 3

## Геометрические параметры Н4ЦСА

Вариант модели антенны	Радиус образующего цилиндра, см	Начальный угол намотки проводников, град	Максимальный угол намотки проводников, град	Количество витков
Н4ЦСА1	1,3	13	29	6
Н4ЦСА2	1,4	13	34	7
Н4ЦСА3	1,4	13	36	8

При указанных в таблице 3 геометрических параметрах Н4ЦСА работает в нестандартном для цилиндрической спиральной антенны режиме, который характеризуется распределениями вдоль проводников амплитуд и фаз токов, показанными на рис. 2.

На рис. 3 показаны амплитудные диаграммы направленности ( $f(\theta)$ ) в угломестной плоскости и угловые зависимости коэффициента эллиптичности ( $K_{\Theta}(\theta)$ ) в той же плоскости для Н4ЦСА1, Н4ЦСА2 и Н4ЦСА3 на частоте 2,4 ГГц.

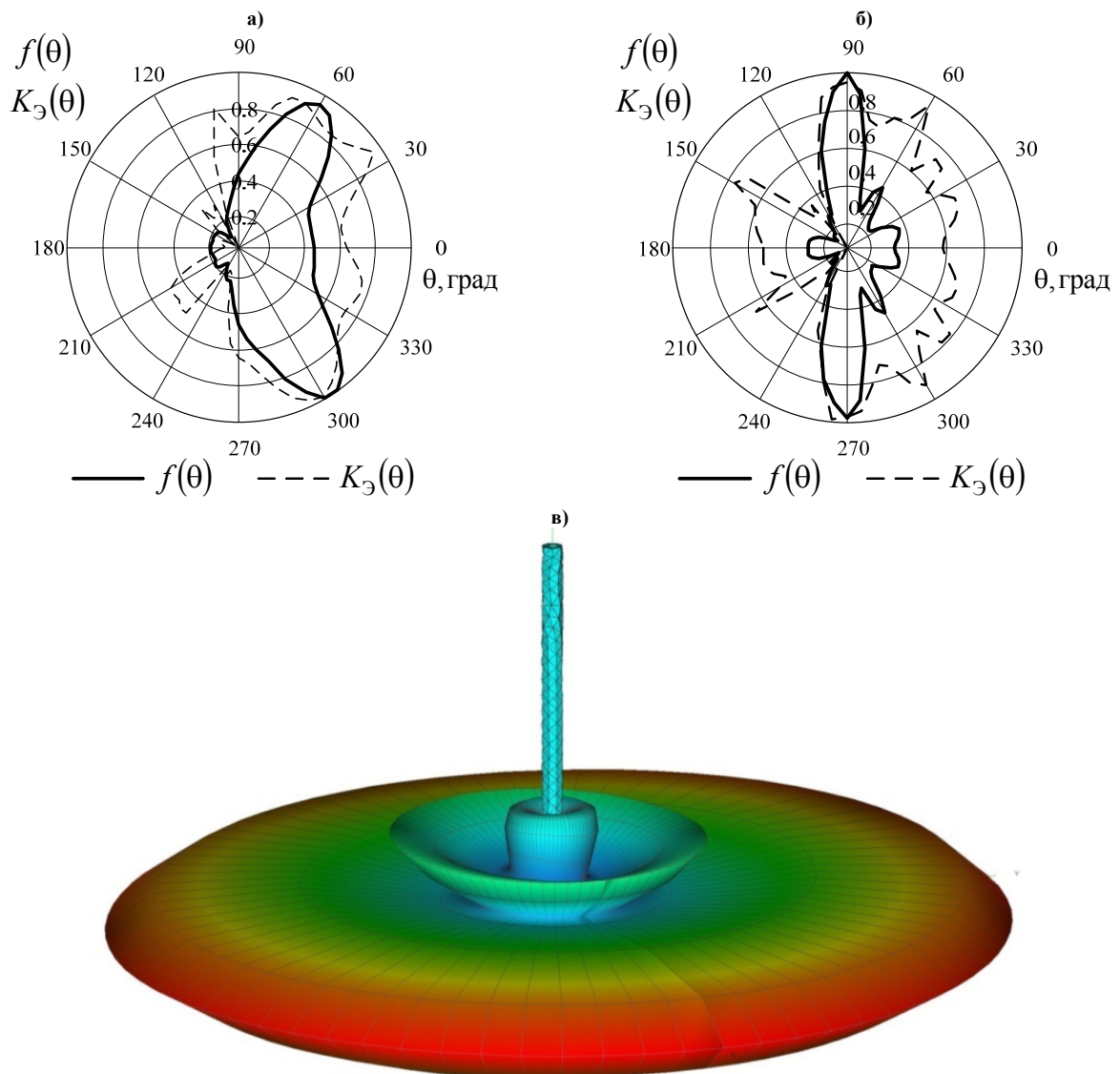


Рис. 3. Диаграмма направленности и угловая зависимость коэффициента эллиптичности Н4ЦСА1 (а), Н4ЦСА3 (б) в угломестной плоскости и трехмерная диаграмма направленности Н4ЦСА3 (в)

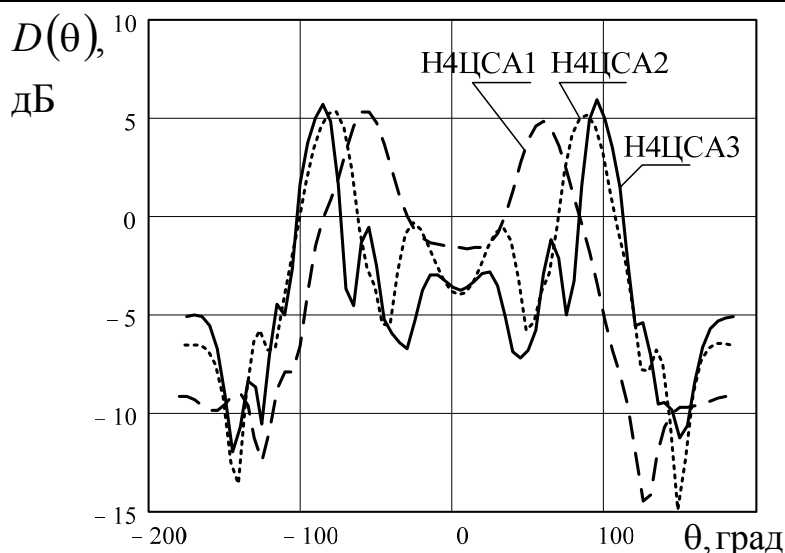


Рис. 4. Угловые зависимости коэффициента направленного действия Н4ЦСА1 — Н4ЦСА3 частоте 2,4 ГГц в угломерной плоскости

Проведенные расчеты показали, что наилучшими характеристиками обладает Н4ЦСА с геометрическими параметрами  $a = 1,4$  см,  $\beta = 13^\circ$ ,  $\Delta\beta = 23^\circ$ ,  $n = 8$ . При этом максимум излучения направлен вдоль нормали к оси антенны и составляет угол  $\theta_{\max} = 90^\circ$ , коэффициент эллиптичности в направлении максимума главного лепестка ДН принимает наибольшее значение, которое составляет  $K_{\mathcal{E}} = 0,98$ . Входное сопротивление антенны на четырех входах одинаковое и составляет на частоте 2,4 ГГц  $Z_{\text{ВХ}} = (147 - j46)$  Ом. Применение согласующего трансформатора позволит обеспечить на входе антенны коэффициент стоячей волны по напряжению  $K_{\text{СТУ}} = 1,35$ .

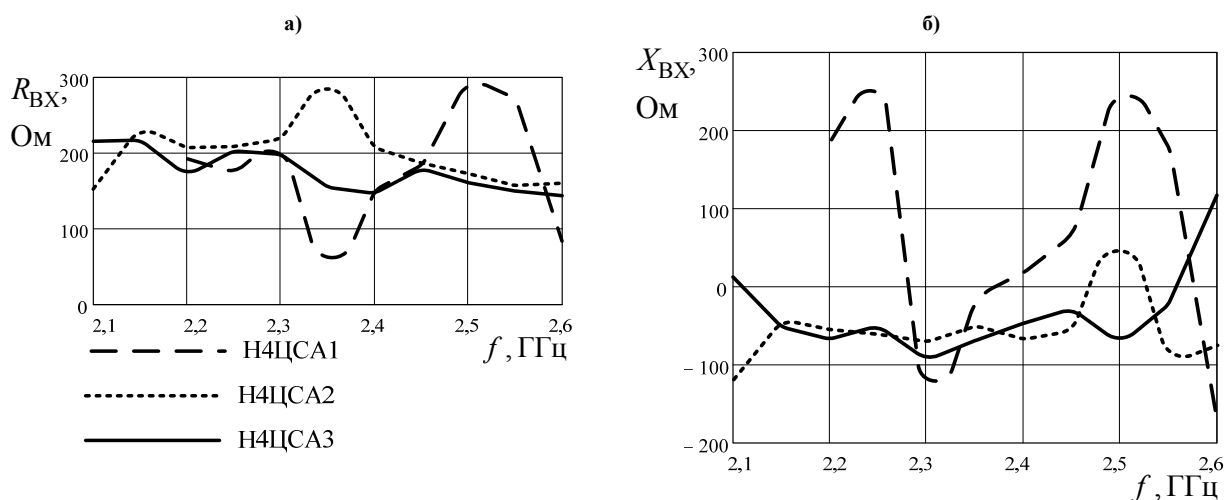


Рисунок 5 — Частотная зависимость входного сопротивления Н4ЦСА1 — Н4ЦСА3

Вместе с тем, каждая из рассмотренных антенн (Н4ЦСА1 — Н4ЦСА3) может быть эффективно использована для организации беспроводного канала связи и передачи информации, так как каждая из антенн имеет свой угол склонения главного луча относительно горизонта, при этом сохраняется направленность излучения и условия для согласования.

### Выводы

Разработаны четырехзаходные нерегулярные цилиндрические спиральные антенны, обладающие ненаправленной диаграммой направленности в азимутальной плоскости. Каждая антенна отличается от других углом склонения главного лепестка относительно линии горизонта от  $0^\circ$  до  $30^\circ$ , что обусловлено отличием угла намотки и количества витков в излучателе. Также возможно частотное сканирование главным лепестком диаграммы направленности в любой из разработанных антенн в пределах  $\pm 10^\circ$  от центрального положения луча. Поле излучения антенн характеризуется круговой поляризацией с

$K_{\text{э}} = 0,9—0,98$ . Каждая из антенн обладает коэффициентом направленного действия около 5 дБ.

### Литература

1. Wi-Fi антенны [Электронный ресурс] / Техно-Трейд. —<http://www.technotrade.com.ua/catalog-714>. — 11.05.12.
2. Пат. № 12/692,556 США, H01Q 21/06. Compact circularly polarized omni-directional antenna. Royden M. Honda, Robert J. Conley. — № 12/692,556. Заявлено 23.01.2009. Оpubл. 29.07.2010.
3. Головин В. В. Сравнительный анализ характеристик излучения цилиндрических спиральных антенн / В. В. Головин, Ю. Н. Тыщук // Мат. 21-й Междунар. конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», 12—16 сентября 2011, г. Севастополь. — Севастополь: СевНТУ, 2011. — Т.2. — С.585 — 586.

### References

1. Wi-Fi antenna [Electronic resource] / Techno-Trade. —<http://www.technotrade.com.ua/catalog-714>. — 11.05.12.
2. Pat. № 12/692,556 USA, H01Q 21/06. Compact circularly polarized omni-directional antenna. Royden M. Honda, Robert J. Conley. — № 12/692,556. declare 23.01.2009. publish. 29.07.2010.
3. Golovin V. V. Comparative analysis of the emission characteristics of helical antennas / V. V. Golovin, Y. N. Tyschuk // Mat. 21-th Int. conf. «Microwave technique and telecommunication technology», 12—16 September 2011, Sevastopol. — Sevastopol: SevNTU, 2011. — V.2. — pp.585 — 586.

Рецензія/Peer review : 23.1.2017 р.

Надрукована/Printed : 1.3.2017 р.

Стаття рецензована редакційною колегією