

УДК 533.9–15, 621.396.67

## ПЛАЗМЕННО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АНТЕННА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ

А. Н. АРТЕМЕНКО<sup>1</sup>, В. Д. КАРЛОВ<sup>2</sup>, Ю. В. КИРИЧЕНКО<sup>3</sup>, Ю. Ф. ЛОНИН<sup>3</sup><sup>1</sup>Министерство обороны Украины,

Украина, Киев, 03168, Повітрофлотський пр-т, 6

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет Воздушных Сил,

Украина, Харьков, 61023, ул. Сумская 77/79

<sup>3</sup>Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,

Украина, Харьков, 61108, ул. Академическая, 1

**Аннотация.** В работе исследована эффективность преобразования поверхностной волны в излучение в продольно неоднородном плазменном цилиндре. Плазма ограничена диэлектрической оболочкой конечной толщины. Используется метод спектрального разложения поля по набору функций, включающему в себя поверхностные и пространственные волны плазменного цилиндра с диэлектрической оболочкой. Получена система интегро-дифференциальных уравнений для коэффициентов разложения, которые определяют амплитуды прошедшей, отраженной и рассеянной волн, а также диаграммы направленности (ДН). Система уравнений решается для сильного продольного изменения плотности плазмы. Вычислены зависимости коэффициентов трансформации энергии поверхностной волны от градиента плотности плазмы, электрической длины участка неоднородности плазмы, электрического радиуса плазменного цилиндра, диэлектрической проницаемости и толщины диэлектрика. Доля энергии поверхностной волны, которая трансформируется в излучение под острыми углами, может составлять 35%. ДН являются остронаправленными и имеют один лепесток. Максимум излучения приходится на угол в несколько градусов по отношению к направлению распространения поверхностной волны. Ширина лепестка уменьшается, а его положение сдвигается к 0° при увеличении градиента плотности плазмы. Исследовано влияние свойств диэлектрика на характеристики излучения.

**Ключевые слова:** плазменная антенна бегущей волны; линейная антенна; ограниченная плазма; диаграмма направленности; СВЧ-излучение; поверхностная волна

## ВВЕДЕНИЕ

В [1, 2] экспериментально показано, что цилиндрический столб низкотемпературной плазмы может служить передающей антенной. В экспериментах, описанных в этих статьях, энергия поверхностной волны в газонаполненном диэлектрическом волноводе частично затрачивается на создание плазмы и частично преобразуется в излучение. При этом плотность плазмы уменьшается по мере удаления от торца волновода. Именно благодаря этой

неоднородности возникает излучение такой антенны.

Продольные неоднородности в плазменно-диэлектрических волноводах всегда имеются в реальных условиях эксперимента. Поэтому для правильного понимания процесса излучения в цилиндрических плазменных антеннах и их конструирования необходимо исследовать зависимость коэффициентов трансформации энергии поверхностной волны в излучение от степени неоднородности плотности плазмы. Учет этой неоднородности имеет

DOI: [10.20535/S0021347019110049](https://doi.org/10.20535/S0021347019110049)

© А. Н. Артеменко, В. Д. Карлов, Ю. В. Кириченко, Ю. Ф. Лонин, 2019

*Trans. Plasma Science*, Vol. 32, No. 1, p. 269–281, 2004. DOI: [10.1109/tps.2004.826019](https://doi.org/10.1109/tps.2004.826019).

2. Истомин, Е.Н.; Карфидов, Д.М.; Минаев, И.М.; Рухадзе, А.А.; Тараканов, В. П.; Сергейчев, К.Ф.; Трефилов, А.Ю. “Плазменный несимметричный вибратор с возбуждением поверхностной волной,” *Физика плазмы*, Т. 32, № 5, С. 423–435, 2006. URI: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9221597>.

3. Derendyaev, D. N. “Radiation of a travelling-wave antenna in plasma in the whistler frequency band,” *J. Commun. Technol. Electronics*, Vol. 62, No. 4, p. 337–345, 2017. DOI: [10.1134/S1064226917040040](https://doi.org/10.1134/S1064226917040040).

4. Bogachev, N. N.; Bogdankevich, I. L.; Gusein-zade, N. G.; Rukhadze, A. A. “Surface wave and linear operating mode of a plasma antenna,” *Plasma Phys. Rep.*, Vol. 41, No. 10, p. 792–798, 2015. DOI: [10.1134/S1063780X15100037](https://doi.org/10.1134/S1063780X15100037).

5. Шевченко, В.В. *Плавные переходы в открытых волноводах. Введение в теорию*. М.: Наука, 1969, 191 с.

6. Kirichenko, Yu. V. “Radiation from a plasma layer with a strong longitudinal irregularity,” *J. Commun. Technol. Electronics*, Vol. 62, No. 12, p. 1215–1223, 2017. DOI: [10.1134/S1064226917110079](https://doi.org/10.1134/S1064226917110079).

7. Kirichenko, Yu. V. “Cylindrical plasma antenna with large longitudinal density irregularity,” *J. Commun. Technol. Electronics*, Vol. 63, No. 5, p. 438–445, 2018. DOI: [10.1134/S1064226918050042](https://doi.org/10.1134/S1064226918050042).

8. Кириченко, Ю.В.; Лонин, Ю.Ф.; Онищенко, И.Н. “Плазменная антенна бегущей волны,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 54, № 11, С. 35–39, 2011. DOI: [10.20535/s0021347011110057](https://doi.org/10.20535/s0021347011110057).

9. Кириченко, Ю.В.; Лонин, Ю.Ф.; Онищенко, И.Н. “СВЧ излучение цилиндрического плазменного столба,” *Известия вузов. Радиоэлектроника*, Т. 57, № 10, С. 54–60, 2014. DOI: [10.20535/s0021347014100069](https://doi.org/10.20535/s0021347014100069).

10. Уолтер, К. *Антенны бегущей волны*. М: Энергия. 1970, 525 с.

11. Anderson, T. *Plasma Antennas*. Norwood Artech House, 2011. 203 p.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rayner, J. P.; Whichello, A. P.; Cheetman, A. D. “Physical characteristics of plasma antennas,” *IEEE*

Поступила в редакцию 03.01.2019

После доработки 28.10.2019

Принята к публикации 08.11.2019