

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВОРАЧИВАЕМОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СПИРАЛЬНОЙ КОНИЧЕСКОЙ ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ГРАФЕНОВОЙ АНТЕННЫ ДЛЯ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ

Александр Григорьевич Черевко

Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики, 630106, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, кандидат физико-математических наук, зав. кафедрой физики, тел: (383)269-39-20, e-mail: cherevko@mail.ru

Юрий Вячеславович Моргачев

Сибирский государственный университет телекоммуникации и информатики, 630106, Россия, г. Новосибирск, ул. Кирова, 86, инженер, тел: (383)269-39-23, e-mail: morgachev.yury@gmail.com

Одним из магистральных направлений в развитии информационных технологий является спутниковая связь (СС). Поэтому к элементной базе СС предъявляются повышенные требования по массогабаритным характеристикам и экологичности, что требует исследований по использованию новых материалов и технологий, обеспечивающих требуемый уровень вышеуказанных характеристик. Одной из таких перспективных технологий является печать графеновыми чернилами на биоразлагаемых подложках. Эти чернила не подвергаются коррозии и легче металлических аналогов. Возможность применения этой технологии позволило развивать направление разворачиваемых антенн, которые имеют предпочтительные массогабаритные характеристики, легко перевозятся и устанавливаются. Представлены результаты разработки экологической спиральной логарифмической графеновой антенны для спутниковой связи, которая может быть применена в L-, S- и C-диапазонах а также диапазонах GPS. Представлена возможная конструкция и метод установки. Рассмотрено влияние количества оборотов подложки на S-параметр. Представлена рассчитанная диаграмма направленности в двух плоскостях.

Ключевые слова: графен, антенны, печать, спутниковая связь, зеленая электроника.

DESIGNING A DEPLOYABLE ENVIRONMENTAL SPIRAL CONICAL LOGARITHMIC GRAPHENE ANTENNA FOR SATELLITE COMMUNICATIONS

Alexander G. Cherevko

Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 86 Kirova St., Novosibirsk, 630106, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of Physics Department, phone: (383)269-39-20, e-mail: cherevko@mail.ru

Yury V. Morgachev

Siberian State University of Telecommunications and Informatics, 86 Kirova St., Novosibirsk, 630106, Engineer, phone: (383) 269-39-23, e-mail: morgachev.yury@gmail.com

One of the main directions in the development of information technology is satellite communications (SC). Therefore, the elemental base of the SC is subject to increased requirements for weight and size characteristics and environmental friendliness. Research is needed on the use of new materials and technologies that will provide the required level of the above characteristics in order to achieve these requirements. One such promising technology is the printing of graphene inks on bio-

degradable substrates. Graphene inks do not corrode and are lighter than metal analogues. The possibility of using this technology allowed us to develop the direction of deployable antennas, which have the preferred weight and size characteristics, are easily transported and installed. The results of the development of an environmental spiral logarithmic graphene antenna for satellite communications, are presented. This antenna can be applied in the L-, S- and C-bands as well as GPS bands. A possible design and folding method is presented. The effect of the substrate's revolutions number on the S parameter is considered. The calculated radiation pattern in two planes is presented.

Key words: graphene, antennas, print, satellite, green electronics.

Введение

Для передачи данных, собираемых различными приборами и датчиками, которые находятся в отдаленных районах, очень часто прибегают к использованию спутниковой связи. Данный вид связи может обеспечивать передачу данных в большом диапазоне частот. Одно из главных требований – это использование направленной антенны на приемной стороне для обеспечения передачи данных [1-2]. Для работы в нескольких частотных диапазонах спутниковой связи отлично подходит спиральная коническая логарифмическая антенна [3-4].

Однако подобные антенны обладают достаточно большими размерами [5] относительно миниатюрной аппаратуры. Так же их размеры значительно усложняют и удорожают транспортировку из-за дополнительного объема и веса.

Для уменьшения размера при перевозке возможно использовать разворачиваемые антенны, так называемые антенны-оригами. Такие антенны могут быть легко развернуты и свернуты [6]. Данное направление в настоящий момент активно изучается, в том числе при финансировании военными фондами. Например, Флоридский международный университет получил грант в размере 4,8 млн долларов на разработку технологии изготовления данных антенн, спонсированный Управлением научных исследований ВВС США [7].

На основании данных об упоминании оригами-антенн, приведённых в базе данных Scopus, можно говорить о нарастающей актуальности по разработке данных антенн (рис. 1).

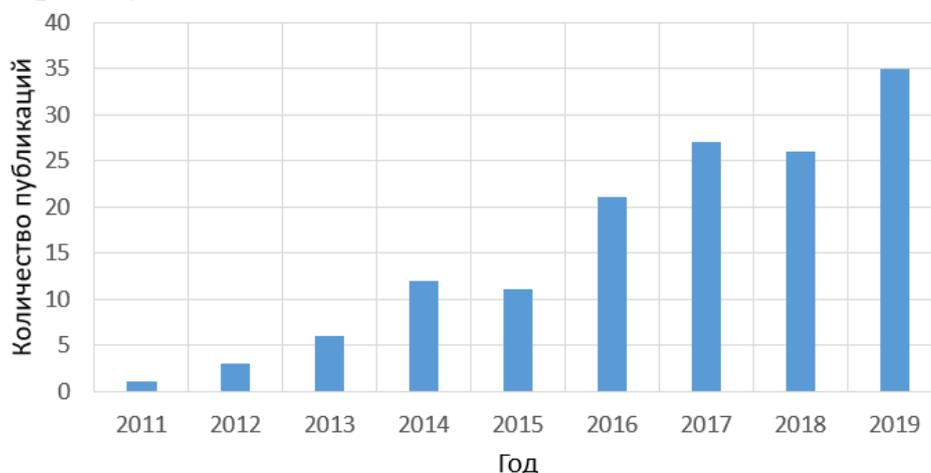


Рис. 1. Публикационная активность по разработке антенн-оригами

В статьях [8] и [9] рассматриваются конструкции спиральных антенн, работающих в частотных диапазонах 0,86-2,14 и 4-4,5 ГГц, в качестве подложки которых используется бумага и пластик, соответственно. В качестве проводящего материала используется медная фольга. В статье [10] представлена антенна, состоящая из двух полосок, которая при складывании образует куб. Полоски нанесены с помощью струйной печати. Данная антенна предполагается для использования при упаковке товаров. Конструкция данной антенны представлена на рис. 2.

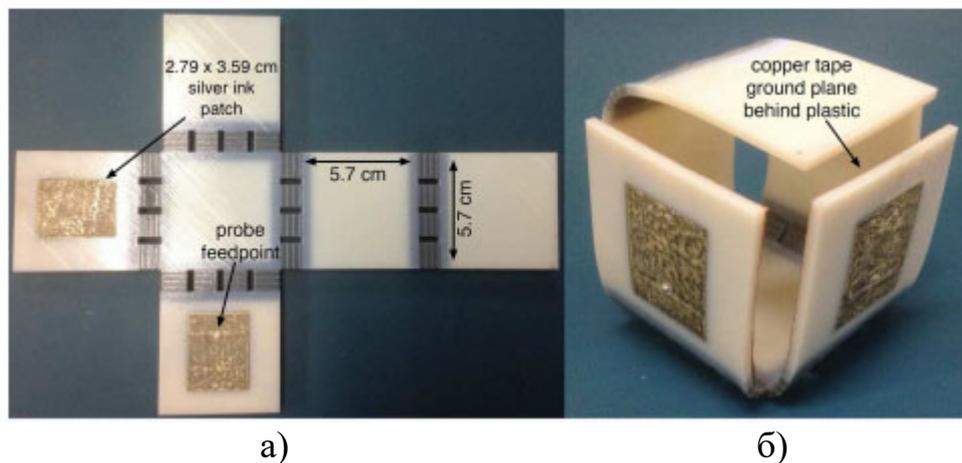


Рис. 2. Оригами-антенна в форме куба для использования при упаковке товара:
а) конструкция антенны до складывания; б) конструкция антенны после складывания

К сожалению, складные антенны-оригами, о которых сообщалось на сегодняшний день, обладают ограниченной долговечностью, что объясняется хрупкостью составляющих их материалов [11]. Поэтому наилучшим проводящим материалом, который может использоваться для нанесения на бумагу является графен. Чернила на основе графен обладает меньшим весом, устойчивостью к коррозии и высыхают при меньших температурах, по сравнению с медными, серебряными или алюминиевыми. Так же графеновые чернила являются экологичными [12-14]. Графеновые экологичные антенны переносят деформации лучше, чем антенны, изготовленные на основе других чернил [15-17].

Результаты и их обсуждение

В данной статье нами предложена конструкция спиральной конической логарифмической антенны и метод её развертывания. Данная антенна может работать в нескольких диапазонах спутниковой связи: L-диапазон (1,5 ГГц), S-диапазон (2,5 ГГц), C-диапазон (4 ГГц) и диапазонах GPS L3 (1381,05 МГц) и L1 (1575,42 МГц).

Такая антенна может быть выполнена с помощью технологии трафаретной печати графеном на пленке, основанной на полилактиновой кислоте (PLA), бо-

лее подробно представлено в статье [18]. Толщина данной пленки может составлять до 0,2 мм.

На рис. 3 представлена заготовка спиральной конической логарифмической антенны.

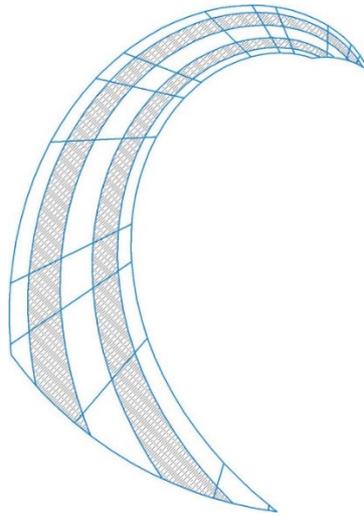


Рис. 3. Заготовка спиральной конической логарифмической антенны для нанесения на подложку

Данная антенна может быть сложена с помощью сворачивания заготовки. Так же на заготовку наносятся линии, которые направлены поперек антенны для контроля верного положения антенны при сворачивании. На рис. 4 представлена конструкция антенны. Серым цветом изображен графен, бирюзовым – пленка. Пленка, расположенная над графеном, убрана для наглядности конструкции.

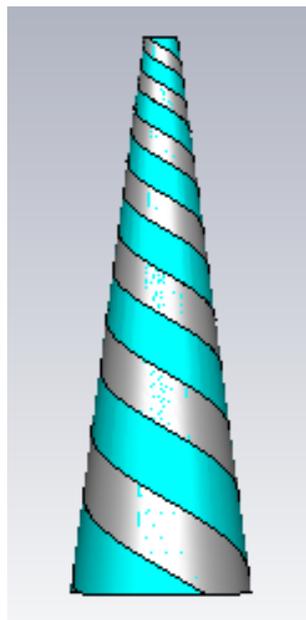


Рис. 4. 3Д модель спиральной конической логарифмической антенны

Компьютерное моделирование, выполненное с помощью современных компьютерных электромагнитных пакетах, позволяет достигать высокую степень совпадения рассчитанных характеристик и измеренных, что представлено нами в статьях [19] и [20].

Влияние толщины пленки, используемой в качестве подложки, было проанализировано с помощью компьютерного моделирования. На рис. 5 представлено влияние толщины пленки на S-параметр данной антенны.

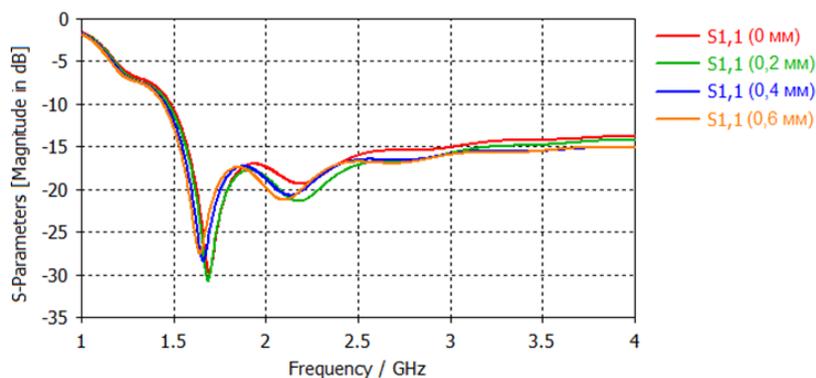


Рис. 5. S-параметр спиральной конической логарифмической антенны

Как можно заметить, изменение толщины пленки незначительно влияет на итоговый S-параметр данной антенны.

Диаграмма направленности данной антенны представлена на рис. 6. Средний коэффициент усиления, достигнутый в данном диапазоне частот, составляет 5 дБ.

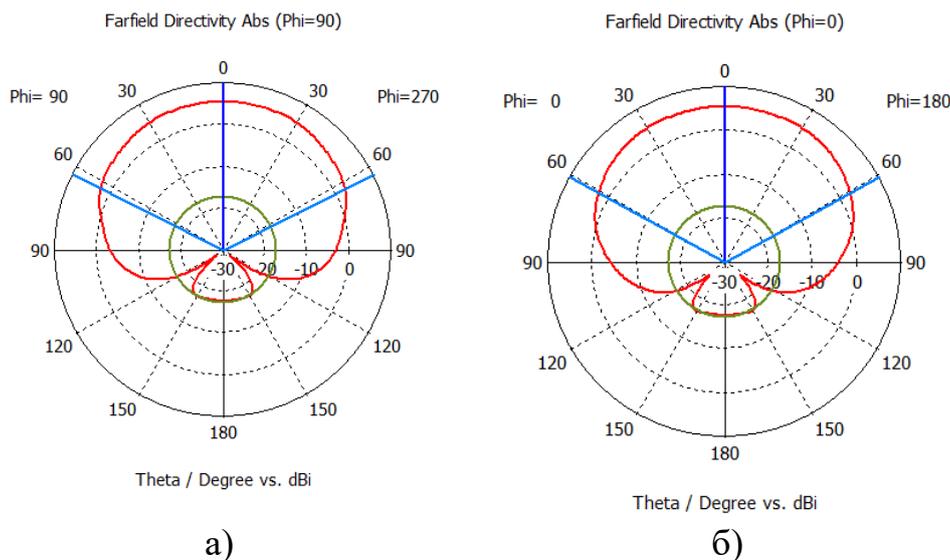


Рис. 6. Диаграмма направленности спиральной конической логарифмической антенны на частоте 2,5 ГГц в двух плоскостях:

а) E-плоскость; б) H-плоскость

Заключение

В данной работе представлена конструкция спиральной конической логарифмической графеновой антенны, работающей в диапазонах спутниковой связи. Данная антенна может быть просто изготовлена с помощью печати представленной заготовки на пленке. А также в дальнейшем свернута с высокой точностью из-за наличия дополнительных линий, нанесенных поперек антенны. На основании компьютерного моделирования доказано, что при скручивании влияние обертывания пленкой будет незначительным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fujimoto K. *Mobile Antenna Systems Handbook*. Boston, Mass.: Artech House, 2008. p. 680
2. Teunissen P J G, Montenbruck O., Hein G.W. *Springer handbook of global navigation satellite systems*. Cham, Switzerland: Springer, 2017. p.1327.
3. Hussein K.F.A. Conical Linear Spiral Antenna for Tracking, Telemetry and Command of Low Earth Orbit Satellites // *Progress in Electromagnetics Research C*. 2012. Т. 29. С. 97–107.
4. Olson G. и др. Structural Architectures for a Deployable Wideband UHF Antenna // 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. 2012. DOI: 10.2514/6.2012-1836
5. Dyson J. The Characteristics and Design of the Conical Log-Spiral Antenna // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. V. 13. 1965. p. 488-499
6. Hayes G.J. и др. Self-Folding Origami Microstrip Antennas // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2014. Т. 62. № 10. С. 5416–5419.
7. These Satellite Antennas Were Inspired by Origami [Электронный ресурс]. URL: <https://www.airspacemag.com/airspacemag/satellite-antennas-inspired-origami-180972978/> (дата обращения: 27.05.2020).
8. Liu X. и др. An Origami Reconfigurable Axial-Mode Bifilar Helical Antenna // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2015. Т. 63. № 12. С. 5897–5903.
9. Jalali Mazlouman S. и др. Reconfigurable Axial-Mode Helix Antennas Using Shape Memory Alloys // *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2011. V. 59. № 4. p. 1070–1077.
10. Kimionis J. и др. 3D-Printed Origami Packaging with Inkjet-Printed Antennas for RF Harvesting Sensors // *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2015. V. 63. № 12. p. 4521–4532
11. Yan S., Vandenbosch G.A.E. Radiation Pattern-Reconfigurable Wearable Antenna Based on Metamaterial Structure // *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*. 2016. V. 15. p. 1715–1718.
12. Черевко А.Г., Моргачев Ю.В. Экологичные антенны как элементы интернета вещей // *Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения*. 2017. Т. 17. № 3. С. 773-776.
13. Pan K. и др. Sustainable production of highly conductive multilayer graphene ink for wireless connectivity and IoT applications // *Nature Communications*. 2018. Т. 9. № 1. DOI: s41467-018-07632-w
14. Sang Tran T., Dutta N., Roy Choudhury N. Graphene-Based Inks for Printing of Planar Micro-Supercapacitors: A Review // *Materials*. 2019. Т. 12. № 6. С. 978.
15. Cherevko A., Morgachev Y., Il'in E. Place of Computer Modeling in Design of Biodegradable Graphene Printed Antennas of Cellular Range // 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon). 2019. DOI: 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867673

16. Edvige Celasco и др. Handbook of graphene. Vol. 8. Hoboken, Nj: John Wiley & Sons, Inc. ; Beverly, Ma, 2019. p.503
17. Lamminen A. и др. Graphene-Flakes Printed Wideband Elliptical Dipole Antenna for Low-Cost Wireless Communications Applications // IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters. 2017. Т. 16. С. 1883–1886.
18. Cherevko A. et al. Graphene Antenna on a Biodegradable Substrate for Frequency Range of Cellular Operators // 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE). 2018. P. 312-314
19. Cherevko A.G., Morgachev Y.V. Terahertz antenna modules // 2016 17th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). 2016. DOI: 10.1109/EDM.2016.7538713
20. Черевко А.Г., Моргачев Ю.В., Котин И.А., Якимчук Е.А., Соотс Р.А., Антонова И.В. Графеновая антенна на биоразлагаемой подложке для частотного диапазона GSM-1800 // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2018 Труды XIV Международной научно-технической конференции. Т.8. 2018. С. 168-171.

© А. Г. Черевко, Ю. В. Моргачев, 2020