

**ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОСВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ  
ОРБИТАЛЬНЫХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ И МАГНИТНЫХ АНТЕНН  
ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ**Н. А. Тестоедов<sup>1</sup>, В. В. Двирный<sup>1</sup>, Г. Г. Крушенко<sup>2\*</sup>, Г. В. Двирный<sup>1</sup><sup>1</sup> АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва»  
Российская Федерация, 662972, г. Железнодорожск Красноярского края, ул. Ленина, 52<sup>2</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН  
Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, стр. 44

\*E-mail: genry@icm.krasn.ru

*Применение космоса для традиционных радиолобительских приложений возможно с помощью относительно дешевых маложивущих микроспутников, которые выводятся на низкие орбиты экипажем космической станции. Радиосвязь может быть построена на базе отражателей и частотно-независимых малых магнитных антенн с вращающейся поляризацией, которые должны выполнять специальную функцию – связывать излученную в пространстве электромагнитную энергию с электронными компонентами аппаратуры, и поэтому они являются одними из основных элементов, определяющих построение радиотехнических систем. Поскольку в природе нет магнитных зарядов и, следовательно, нет магнитного тока, понимаемого как движение этих зарядов, то магнитный излучатель как элемент магнитного тока не может быть осуществлен, однако если антенный излучатель изначально создает переменное вращающееся вихревое магнитное поле, создать антенну возможно, реализовав в ней свойства магнитоэлектрической индукции. Первая телефонная спутниковая связь между Америкой и Великобританией была налажена через массивный экспериментальный американский спутник Echo1, запущенный на низкую околоземную орбиту, который представлял собой шар диаметром около 30 м, изготовленный из радиоотражающего материала. Тип такого спутника связи можно применить и в предлагаемой радиосвязи. Однако поскольку приемные и передающие антенны являются узконаправленными, то космический аппарат должен иметь на орбите такую ориентацию, чтобы он принял сигнал и отразил его. Диаметр сферы при этом может быть значительно меньших размеров, а положение на орбите можно удерживать корректирующей двигательной установкой, расположенной в центре масс. Радиоотражающая поверхность может быть выполнена из надувной пленки или сетеполотна, изготовленного, например, из позолоченной вольфрамовой проволоки диаметром порядка 30 мкм, разворачиваемого в сферу в трансформируемой конструкции. Возможен вариант выполнения сетеполотна из магнитно-мягкого материала типа сталей Э8, Э10, железа «Армо» или пермаллоя, которые являются идеальными проводниками магнитных потоков и не требуют охлаждения до криогенных температур.*

*Ключевые слова: радиосвязь, микроспутники, магнитные антенны.*

Vestnik SibGAU  
Vol. 16, No. 2, P. 364–367**THE POSSIBILITY OF CONSTRUCTING A RADIO COMMUNICATION  
USING ORBITAL REFLECTORS AND MAGNETIC ANTENNAS POLARIZATION ROTATING**N. A. Testoedov<sup>1</sup>, V. V. Dvirnyi<sup>1</sup>, G. G. Krushenko<sup>2\*</sup>, G. V. Dvirnyi<sup>1</sup><sup>1</sup>JSC “Information satellite systems” named after academician M. F. Reshetnev”  
52, Lenin str., Jejeznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russian Federation<sup>2</sup> Institute of Computational Modeling SB RAS  
50/44, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

\*E-mail: genry@icm.krasn.ru

*The use of space for traditional Amateur radio applications is possible using relatively cheap only briefly long microsatellites, which are displayed on a low orbit of the space station crew. The radio can be built on the basis of reflectors and frequency-independent small magnetic antenna with circular polarization, which must fulfill a special function: to associate radiated into space electromagnetic energy with electronic components of the apparatus, and therefore are one of the main defining elements of the building radio systems. Since there are no magnetic charges, and therefore, no magnetic current, understood as the movement of these charges, a magnetic emitter, a magnetic current*

*element, cannot be accomplished, however, if the antenna radiator initially creates an alternating rotating vortex magnetic field, it is possible to create the antenna having in it the properties of magneto-electric induction. The first satellite phone communication between America and Britain was established through a massive experimental American satellite Echo1, launched into low earth orbit, which represented a ball with a diameter of about 30 m, made of radio-tracer material. The type of such a communication satellite can be used in the proposed radio communications. However, since the receiving and transmitting antennas are highly directional, the spacecraft must be in the orbit of such an orientation that it took the signal and reflected it. The diameter of the sphere can be much smaller, and the position in orbit to keep a corrective propulsion system, located in the center of mass. Radioreflexive surface may be made of an inflatable film or setpolicy made, for example, of gold-plated tungsten wire with a diameter of about 30 μm deployed in the field in transformable structures. Possible embodiment of setpolicy of magnetically soft material type steel A, E, iron "Armco" or permalloy, which are perfect conductors of magnetic flux and do not require cooling to cryogenic temperatures.*

*Keywords: radio, microsattellites, magnetic antennas.*

**Введение.** Современное радиолюбительство – это развивающееся направление телекоммуникаций, включающее радиотехнические системы с передающими устройствами, генерирующие радиочастотные сигналы, фидерные системы, доставляющие эти сигналы до антенны, которые преобразуют сигналы в электромагнитные излучения, распространяющиеся в пространстве и достигающие приемных антенн, где преобразуются в электрические токи и через фидерные системы поступают на входы усилителей приемников.

Применение космоса для традиционных радиолюбительских приложений возможно с помощью относительно дешевых маложивущих микроспутников (ММС), которые выводятся «пассажирами» на низкие орбиты, например, экипажем космической станции. Радиосвязь может быть построена на базе отражателей и частотно-независимых малых магнитных антенн (ММА) с вращающейся поляризацией [1].

ММА должны выполнять специальную функцию – связывать излученную в пространстве электромагнитную энергию с электронными компонентами аппаратуры, и поэтому они являются одними из основных элементов, определяющих построение радиотехнических систем.

Поскольку в природе нет магнитных зарядов и, следовательно, нет магнитного тока, понимаемого как движение этих зарядов, то магнитный излучатель как элемент магнитного тока не может быть осуществлен, однако если антенный излучатель изначально создает переменное вращающееся вихревое магнитное поле, создать антенну возможно, реализовав в ней свойства магнитоэлектрической индукции. ММА в зоне излучения создает вращающееся вихревое магнитоэлектрическое поле, которое по структуре эквивалентно электромагнитному полю, излученному электрической антенной.

Поскольку изменение магнитного поля во времени сопровождается появлением в пространстве электрического поля, то это закон магнитоэлектрической индукции, существование которого приводит к возможности существования симметричного явления – электромагнитной индукции, порождающей вихревое электрическое поле.

Магнитное же поле всегда вихревое, независимо от того, обусловлено оно постоянным током или переменным электрическим полем, поскольку линии

магнитного поля всегда замкнуты и в них нет истоков и стоков (начала и конца).

**Антенные системы.** Антенная система, создающая переменное электрическое или магнитное поле, может излучать электромагнитные или магнитоэлектрические волны соответственно, но получение качественного сигнала возможно только при выполнении определенных условий, связанных с используемым частотным диапазоном, в то время как магнитное поле магнитной антенны сосредоточено в основном в обмотке и излучение не связано с выполнением условий, определяемых используемым частотным диапазоном, и, следовательно, в них отсутствуют потери энергии в процессе излучения свободных магнитоэлектрических полей, которые распространяются в свободном пространстве со скоростью света в виде бегущих магнитоэлектрических волн.

Исторически сложилось так, что для приема и передачи радиосигналов используются электрические антенны, а для усиления – электронные схемы на базе колебательного контура, когда входящая радиоволна сначала взаимодействует с антенной, а потом с усилителем вносят помехи в сигнал с потерей слабых сигналов и искажением более сильных.

Для современного радиотелескопа, например по проекту «Миллиметрон» [2], для приема сверхслабых сигналов с целью уменьшения тепловых колебаний и, соответственно, электрического шума требуется мощное охлаждение – вплоть до 4 К. Благодаря вышеописанным свойствам ММА, не требующие работы при криогенных температурах, могут найти применение в радиотелескопах, особенно космических, где громоздкое дорогостоящее криогенное охлаждение окажется невыгодным, а ММА впервые смогут принять радиосигналы, посылаемые из далекого космоса, поскольку получение сверхнизких температур имеет предел – абсолютный ноль (минус 273,15 °С).

В 1965 г. астрономы Пензиас и Вильсон [3], используя построенную для связи со спутниками рупорную антенну лаборатории фирмы Белл-Телефон, сконструированную так, чтобы обеспечить сверхнизкий уровень собственных шумов, обнаружили [4] в микроволновом диапазоне на длине волны 7,35 см при температуре  $3,5 \pm 1,0$  К слабый дополнительный радиосум, интенсивность которого не зависела ни от направления антенны, ни от времени суток,

который получил название «реликтовое излучение» – «след» от Большого взрыва.

При использовании метода адиабатического размагничивания удалось достичь температуры примерно 0,003 К, а методом ядерного адиабатического размагничивания достигнута температура  $2 \times 10^{-8}$  К, при которой практически не действуют никакие известные физические законы [5].

Границы полос любительских радиочастот, в том числе и для связи через спутники Земли, известны и размещены, например, на сайте радиолюбителей Омской области [6].

Энергетический расчет спутниковой линии связи проводится для двух участков: Земля–спутник и спутник–Земля [7], с учетом свойств излучения вихревых магнитоэлектрических полей в пространстве, что предполагает существенный выигрыш по энергетике, который возможно классифицировать при испытаниях радиосвязи с применением ММА. При этом необходимо учитывать ограничения по скорости света и улучшение характеристик при увеличении частоты вращения переменного магнитного поля, а при охлаждении обмоток до криогенных температур возможно многократное увеличение мощности радиосигналов.

Создание переменного магнитного поля в магнитной антенне аналогично созданию вращающегося магнитного поля в электродвигателях, имеющих многофазные кольцевые обмотки, например, в асинхронных и вентильных [8]. Последние применяются на космических аппаратах (КА). Вектор вращающегося магнитного поля  $B$  создается, например, при питании трехфазной кольцевой обмотки трехфазным синусоидальным током. Предполагается конструкция ММА, где кольцевая фазовая обмотка магнитной антенны например трехфазная, может быть расположена на поверхности кольца из ферромагнетика так, что оси трех катушек сдвинуты на угол  $120^\circ$  относительно друг друга в пространстве и запитаны по схеме звезды или треугольника. Возможен вариант, когда используется для экспериментального макета трёхфазная обмотка асинхронного или вентильного электродвигателя с ферромагнетиком [9] внутри, например, из редкоземельных материалов типа самарий–кобальт или неодим–железо–бор. Что касается сплава 35 ЮНДК, то он имеет значительно меньшую коэрцитивную силу, но при этом его можно применять на стадии эксперимента.

При использовании вентильного электродвигателя, применяемого на КА, где распространено напряжение питания постоянного тока (27 В), необходим полупроводниковый коммутатор с транзисторными ключами, коммутирующими поочередно обмотки по сигналу, например, снимаемому с лобовых частей обмоток или датчика положения ротора параллельного включённого второго электродвигателя, для проведения экспериментально-любительской радиосвязи. Это или датчики Холла, или датчик положения ротора, имеющий свою обмотку и постоянный электромагнит. При наземных испытаниях коэффициент усиления возможно будет измерить методом двух идентичных антенн – передающей и приемной, когда

достаточно измерить мощность магнитоэлектрических сигналов, поступающих в передающую антенну от передатчика в приемное устройство [10].

Известно [11], что первая телефонная спутниковая связь между Америкой и Великобританией была налажена через массивный экспериментальный американский спутник Echo1, запущенный на низкую околоземную орбиту 12 августа 1960 г., который представлял собой шар диаметром около 30 м, изготовленный из радиоотражающего материала.

Тип такого спутника связи можно применить и в предлагаемой радиосвязи. Однако поскольку приемные и передающие антенны являются узконаправленными, то КА должен иметь на орбите такую ориентацию, чтобы он принял сигнал и отразил его. Диаметр сферы при этом может быть значительно меньших размеров, а его геометрические характеристики должны будут измеряться при наземной экспериментальной отработке в термовакуумных условиях. При ориентации одну ось можно будет стабилизировать вращением с помощью гироскопа, а положение на орбите удерживать корректирующей двигательной установкой, расположенной в центре масс.

**Антенны из сетеволка.** Радиоотражающая поверхность может быть выполнена из надувной пленки или сетеполотна, изготовленного, например, из позолоченной вольфрамовой проволоки диаметром порядка 30 мкм, разворачиваемого в сферу в трансформируемой конструкции. Возможен вариант выполнения сетеполотна из магнитно-мягкого материала типа сталей Э8, Э10, железа «Армко» или пермаллоя, которые являются идеальными проводниками магнитных потоков и не требуют охлаждения до криогенных температур. Технология изготовления такого сетеволка подробно описана в патенте 2198453 [12], а его применение в качестве отражающей поверхности трансформируемых наземных и космических антенн описано в работе [13].

**Заключение.** Проведенный анализ состояния вопроса показал возможность построения радиосвязи с помощью орбитальных отражателей и магнитных антенн вращающейся поляризации, которые должны связывать излученную в пространстве электромагнитную энергию с электронными компонентами аппаратуры при использовании для этой цели относительно дешевых маложивущих микроспутников, которые можно выводить на низкие орбиты экипажем космической станции. Подобная телефонная связь между Америкой и Великобританией была реализована с использованием спутника в виде шара, изготовленного из радиоотражающего материала, что предлагается применить и в настоящей работе. Однако поскольку приемные и передающие антенны являются узконаправленными, то космический аппарат должен иметь ориентацию, обеспечивающую прием и отражение сигнала. При этом радиоотражающая поверхность может быть выполнена из пленки или сетеполотна, изготовленного из вольфрамовой проволоки, или из магнитно-мягкого материала типа сталей Э8, Э10, железа «Армко» или пермаллоя, которые являются идеальными проводниками магнитных потоков и не требуют охлаждения до криогенных температур.

## Библиографические ссылки

1. Армизонов Н. Е., Армизонов А. Н. Магнитные антенны вращающейся поляризации – путь эффективного использования радиочастного спектра // *Авиакосмическая техника и технология*. 2014. № 2. С. 30–37.
2. Артеменко Ю. Н., Карпенко А. П., Волкоморов С. В. Возможности механизмов параллельной структуры для ориентации космического телескопа «МИЛЛИМЕТРОН» [Электронный ресурс] // *Наука и образование*. 2014. № 11. С. 357–370. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/740118.html> (дата обращения: 27.02.2015).
3. Assis K. T., Neves M. C. D. History of the 2.7 K Temperature Prior to Penzias and Wilson // *Apeiron*. 1995. Vol. 2, № 3. P. 79–84.
4. Penzias A. A. and Wilson R. W. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s // *Astrophysical Journal*. 1965. Vol. 142. P. 419–421.
5. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе. М. : Мир, 1987. 224 с.
6. Условия использования выделенных полос радиочастот [Электронный ресурс]. URL: <http://omskair.ru/index.php/o-vydelenii-polos/167-plan-chastot-lyubitelskikh-kv-diapazonov-nch-lf-sch-mf-i-vch-hf.html> (дата обращения: 27.02.2015).
7. Шайдуров Г. Я. Основы теории и проектирования радиотехнических систем / Сибирский федеральный университет. Красноярск, 2010. 283 с.
8. Радин В. И., Брускин Д. Е., Захарович А. Е. Электрические машины. М. : Выс. шк., 1988. 328 с.
9. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике. М. : Наука, 1985. 512 с.
10. Лавров В. И., Сомов В. Г., Сивирин П. Я. Измерение параметров крупногабаритных бортовых антенн спутниковых систем связи / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2010. 152 с.
11. Ротхамель К., Кришке А. Антенны. М. : Данвел, 2005. 416 с.
12. Пат. 2198453 Российская Федерация, С1 МПК<sup>7</sup> Н 01 Q 15/14, D 04 В 21/12. Отражательная вязаная сетчатая поверхность антенны и способ ее выработки / Кудрявин Л. А., Халиманович В. И., Заваруев В. А. и др. № 2002100718/12 от 17.01.2002 // *Открытия, изобретения*. 2003. № 4.
13. Трикотажные металлические стеклополотна для отражающей поверхности трансформируемых наземных и космических антенн / О. Ф. Беляев [и др.] // *Технический текстиль*. 2007. № 16. С. 59–64.

## References

1. Armizonov N. E., Armizonov A. N. [Magnetic antenna polarization rotating – the way of the efficient use of spectrum radiocaster]. *Aviakosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya*. 2014, No. 2, P. 30–37 (In Russ.).
2. Artemenko Yu. N., Karpenko A. P., Volkomarov S. V. [The possibility of parallel mechanisms for orientation space Observatory “MILLIMETRON”]. *Nauka i obrazovanie*. 2014, No. 11, P. 357–370 (In Russ.).
3. Assis K. T., Neves M. C. D. History of the 2.7 K Temperature Prior to Penzias and Wilson. *Apeiron*. 1995, Vol. 2, No. 3, P. 79–84.
4. Penzias A. A., Wilson R. W. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. *Astrophysical Journal*. 1965, Vol. 142, P. 419–421.
5. Etkins P. *Poryadok i besporyadok v prirode* [Order and disorder in nature]. Moscow, Mir Publ., 1987, 224 p.
6. *Usloviya ispol'zovaniya vydelennykh polos radiochastot* [Terms of use of the allocated frequency bands]. Available at: <http://omskair.ru/index.php/o-vydelenii-polos/167-plan-chastot-lyubitelskikh-kv-diapazonov-nch-lf-sch-mf-i-vch-hf.html> (accessed 27.02.2015).
7. Shaydurov G. Ya. *Osnovy teorii i proektirovaniya radiotekhnicheskikh sistem* [Fundamentals of the theory and design of radio systems]. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2010, 283 p.
8. Radin V. I., Bruskin D. E., Zakharovich A. E. *Elektricheskie mashiny* [Electrical machines]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1988, 328 p.
9. Yavorskiy B. M., Detlaf A. A. *Spravochnik po fizike* [Handbook of physics]. Moscow, Nauka Publ., 1985, 512 p.
10. Lavrov V. I., Somov V. G., Sivirin P. Ya. *Izmerenie parametrov krupnogabaritnykh bortovykh antenn sputnikovyykh sistem svyazi* [The measurement of large-size on-Board antennas to satellite communication systems]. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2010, 152 p.
11. Rotkhamel' K., Krishke A. *Antenny* [Antennas]. Moscow, Danvel Publ., 2005, 416 p.
12. Kudryavin L. A., Khalimanovich V. I., Zavaruev V. A. et al. *Otrazhatel'naya vyazanaya setchataya poverkhnost' anteny i sposob ee vyrabotki* [Reflective knitted mesh surface of the antenna and its production method]. Patent RF, no. 2198453, 2003.
13. Belyaev O. F., Zavaruev V. A., Kudryavin, Khalimanovich V. I. et al. [Knitted metal Steklovolokno to the reflecting surface of the variable loading of terrestrial and space antennas]. *Tekhnicheskij tekstil'*. 2007, No. 16, P. 59–64 (In Russ.).