

## References

1. Al-Naggar Ya.M. Research of clustering methods and evaluation of the quality of service in the Internet of Things networks based on fuzzy logic: dis. ... cand. tech. sciences. Moscow, 2016, 165 p. (In Russ.)
2. Lobanov V.M. Experimental setup for studying the possibility of using the human body as a medium for digital data transmission. *Medicinskaya tekhnika*, 2009, no. 6, pp. 17–21. (In Russ.)
3. Pavlov K.A. Investigation of the possibility of transmitting an electrical signal through the human body. *Mikroelektronika i informatika: materialy 15 Vserossijskoj mezhvuzovskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov i aspirantov*. Moscow: MIET, 2008, pp. 278. (In Russ.)
4. Pavlov K.A. The first steps to the creation of data transmission technology through the human body. *Molodezh' i sovremennye informacionnye tekhnologii: materialy VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*. Tomsk: SPB Grafiks, 2009, pp. 51–52. (In Russ.)
5. Dmitriev A.S. et al. Ultrawideband wireless body-area sensor networks. *Radiotekhnika i elektronika*, 2013, vol. 58, no. 12, pp. 1160–1170. (In Russ.)
6. Pavlov K.A. Research of a data transmission system using the human body as a transmitting medium. *II Nauchno-tekhnicheskaya konferenciya molodyh uchenyh i specialistov: materialy konferencii*. Moscow: NP «CRP ZelAO Moskvu», 2010, pp. 32. (In Russ.)
7. Temperature sensor with 1-Wire interface. URL: <http://mypractic.ru/ds18b20-datchik-temperatury-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html> (accessed: 05.09.2023). (In Russ.)
8. Connection of the heart rate sensor. URL: [http://www.electronica52.in.ua/proekty-arduino/arduino\\_ad8232](http://www.electronica52.in.ua/proekty-arduino/arduino_ad8232) (accessed: 05.09.2023). (In Russ.)
9. Pulse oximetry from Maxim: the new MAX30102. URL: <https://www.compel.ru/lib/77838> (accessed: 07.09.2023). (In Russ.)
10. Connecting the ADXL345 accelerometer to Arduino. URL: <https://robot-kit.ru/article/Accelerometer-Arduino-ADXL345> (accessed: 07.09.2023). (In Russ.)
11. Radio module nRF24L01. Overview. URL: <https://robototekhnika.ru/content/article/radiomodul-nrf24l01-chast-1-obzor> (accessed: 08.09.2023). (In Russ.)
12. Arduino Nano V3.0 CH340 on ATmega328. URL: <https://compactool.ru/viewtovar.php?id=482> (accessed: 06.09.2023). (In Russ.)

Received 13.09.2023

## АНТЕННЫ, АФУ И УСТРОЙСТВА СВЧ

УДК 004.852

### АНТЕННЫ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

*Котков К.В., Минкин М.А.*

*Самарское инновационное предприятие радиосистем, Самара, РФ*

*E-mail: mma@siprs.ru*

Широкое распространение беспилотных летательных аппаратов различного назначения, расширяющиеся сферы их применения и постоянно возрастающие требования по стойкости каналов связи настоятельно требуют создания новых эффективных антенных решений для аппаратуры командных радиолиний управления и полезной нагрузки. Статья посвящена краткому анализу имеющихся сведений о радиолиниях беспилотных летательных аппаратов, решений в области антенн для аппаратуры командных радиолиний управления и полезной нагрузки и исследованию перспективных антенн для размещаемых на беспилотных летательных аппаратах ретрансляторов. Проведенный обзор основных типов антенн, устанавливаемых на корпус беспилотного летательного аппарата, включая штыревые, микрополосковые и спиральные, а также антенные решетки на их основе, позволил обосновать перспективность использования низкопрофильных и спиральных антенн для ретрансляторов, размещаемых на беспилотных летательных аппаратах. Проведенные исследования частотных и пространственных характеристик низкопрофильных и спиральных антенн подтвердили их достаточную эффективность. Предложенные решения могут быть положены в основу разработки перспективных антенн для ретрансляторов, размещаемых на беспилотных летательных аппаратах.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, ретранслятор на беспилотном летательном аппарате, антенна низкопрофильная, антенна спиральная

## Введение

Широкое распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного назначения, расширяющиеся сферы их применения и постоянно возрастающие требования к стойкости каналов связи БПЛА, в том числе к воздействию средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ), настоятельно требуют создания новых эффективных антенных решений для аппаратуры командных радиолиний управления и полезной нагрузки. Настоящая статья посвящена краткому анализу имеющихся сведений о радиолиниях БПЛА, существующих решений в области антенн для аппаратуры командных радиолиний управления и полезной нагрузки и исследованию перспективных антенн для размещаемых на БПЛА ретрансляторов.

## Радиолинии беспилотных летательных аппаратов

Современные БПЛА в большинстве случаев решают следующие основные задачи [1; 2]:

- ведение наблюдения и разведки;
- нанесение ударов по наземным / надводным целям, самостоятельно или носимыми средствами поражения;
- постановка радиоэлектронных помех;
- целеуказание для других средств поражения, а также корректировка их применения;
- транспортировка и доставка грузов и средств в заданный район;
- ретрансляция данных между удаленными абонентами сетей связи;
- отвлечение внимания или использование их в качестве ложных воздушных целей.

Различают следующие типы БПЛА, отличающиеся конструкцией и принципом работы, взлета/посадки и назначения [3]:

- БПЛА самолетного типа;
- мультироторные БПЛА;
- БПЛА аэростатического типа;



– беспилотные конвертопланы и гибридные модели.

Внешний вид БПЛА двух из перечисленных выше типов приведен на рисунке 1.

Как было отмечено выше, основные задачи, решаемые БПЛА, достаточно многообразны.

Соответственно, система радиосвязи БПЛА представляет собой совокупность радиолиний, в которых передаются данные принципиально различного типа, уровня важности, объема, уровня криптозащиты и т.д. Для управления и обмена данными с БПЛА организуются следующие направления связи:

- направление «вверх» – организуется от пункта управления (ПУ) к БПЛА и включает в себя направление «вверх» командной радиолинии управления (КРУ) для передачи команд управления БПЛА, а также команд управления специальной аппаратурой и техническими средствами полезной нагрузки, размещенными на БПЛА;
- направление «вниз» – организуется от БПЛА к ПУ и включает в себя направление «вниз» КРУ для передачи телеметрической информации о состоянии подсистем БПЛА, специальной аппаратуры и технических средств полезной нагрузки, а также квитанций о выполнении команд управления;
- высокоскоростная линия передачи данных от специальной аппаратуры и технических средств полезной нагрузки, размещенных на БПЛА.

Вышеуказанные линии связи могут организовываться в различных частотных диапазонах, использовать различные режимы с ретрансляцией и без нее, использовать различные сигнально-кодовые конструкции, специально адаптированные под тип и важность передаваемых данных [2].

Для организации КРУ и высокоскоростной передачи телеметрии и данных на наземный ПУ используются следующие диапазоны [2]:



Рисунок 1. БПЛА самолетного типа (а) и мультироторный (б)

- УКВ (ультракороткие волны) (220-400 МГц);
- L (1,4-1,85 ГГц);
- S (2,2-2,5 ГГц);
- C (4,4-5,85 ГГц);
- Ku (15,15-15,35/14,4-14,83 ГГц).

Связь организуется в пределах прямой видимости. Для связи на дальние расстояния могут использоваться БПЛА-ретрансляторы, а также системы спутниковой связи (ССС).

При организации КРУ специальных и военных больших и средних БПЛА через СССР, как правило, используются СССР Iridium, Inmarsat, MOUS, WGS и аналогичные. Линии связи формируются в УКВ, L, X, Ku, Ka диапазонах. Для управления специальными и военными малыми БПЛА, как правило, организуется КРУ в режиме прямой видимости с наземным ПУ или с узлом ретрансляции [2]:

- в диапазонах L (1,4–1,85 ГГц), S (2,2–2,5 ГГц), C (4,4–5,85 ГГц), и Ku (15,15–15,35 / 14,4–14,83 ГГц) – основные каналы КРУ;
- в УКВ диапазоне (220–400 МГц) – резервные каналы КРУ;
- через СССР L-диапазона (1,616-1,6265 ГГц) – резервный канал КРУ, устанавливаемый опционально на отдельных БПЛА.

### **Антенны беспилотных летательных аппаратов**

Отечественные и зарубежные разработчики и производители предлагают ряд решений антенных систем для оборудования БПЛА и ПУ, а также средств РЭБ с БПЛА, на примере которых можно оценить номенклатуру и основные тенденции [4–8].

По результатам анализа литературных источников можно выделить следующие основные типы антенн, устанавливаемых на корпус БПЛА.

*Штыревые антенны.* Данные антенны получили наибольшее распространение в силу простоты разработки и изготовления. Полноразмерные штыревые антенны достаточно высоки (четверть длины волны и более), поэтому достаточно часто используются укороченные антенны с концевыми емкостными нагрузками. Для улучшения аэродинамических характеристик используются обтекатели килевидной формы (рисунок 2а).

*Микрополосковые антенны* (рисунок 2б) обладают малой высотой (порядка нескольких мм) и могут размещаться конформно, непосредственно на корпусе БПЛА.

*Спиральные антенны* (рисунок 2 в, г, д) реализуют круговую поляризацию радиоволн и способны обеспечивать хорошие направленные

свойства или (при снижении требований к коэффициенту усиления) быть достаточно широкополосными.

*Линейные, плоские и кольцевые антенные решетки* на основе штыревых или микрополосковых излучателей. Их применение оправдано лишь на достаточно больших БПЛА.

### **Антенны для ретрансляторов, размещаемых на беспилотных летательных аппаратах**

Как уже было отмечено выше, одной из распространенных функций аппаратуры полезной нагрузки БПЛА является ретрансляция данных между удаленными абонентами сетей связи. При этом ретрансляторы на БПЛА могут использоваться как самостоятельно, так и в составе группировки, а также в сочетании с другими средствами ретрансляции (рисунок 3) [9].

В качестве антенн размещаемых на БПЛА ретрансляторов, в зависимости от диапазона рабочих частот, требований к диаграммам направленности и других тактико-технических требований, могут использоваться антенны различных упомянутых выше типов. В частности, в работе [10] приведены результаты исследований характеристик штыревых антенн, многоэлементных планарных антенн типа «перевернутое F» (Planar Inverted-F Antenna, PIFA) и кольцевой антенной решетки на основе излучателей Уда-Яги при их установке на БПЛА самолетного и мультироторного типов.

Однако, для размещения на относительно малогабаритных квадрокоптерах, включая «привязные» (с электрической силовой установкой и питанием по кабелю с земли), могут быть рекомендованы достаточно эффективные компактные решения на основе одиночных низкопрофильных излучателей PIFA и плоских спиральных излучателей.

Внешний вид предлагаемых излучающих структур приведен на рисунке 4.

Низкопрофильная антенна (рисунок 4а) представляет собой структуру PIFA с дополнительными пассивными проводниками [11]. Активный проводник возбуждается традиционным способом – вертикальным штырем, являющимся продолжением центрального проводника 50-Омной коаксиальной линии, подходящей со стороны основания. Компактность антенны открывает возможность ее использования на малогабаритных БПЛА.

Спиральная антенна (рисунок 4б) образована излучающей структурой в виде плоской двухзаходной логарифмической спирали [12]. Вход ан-

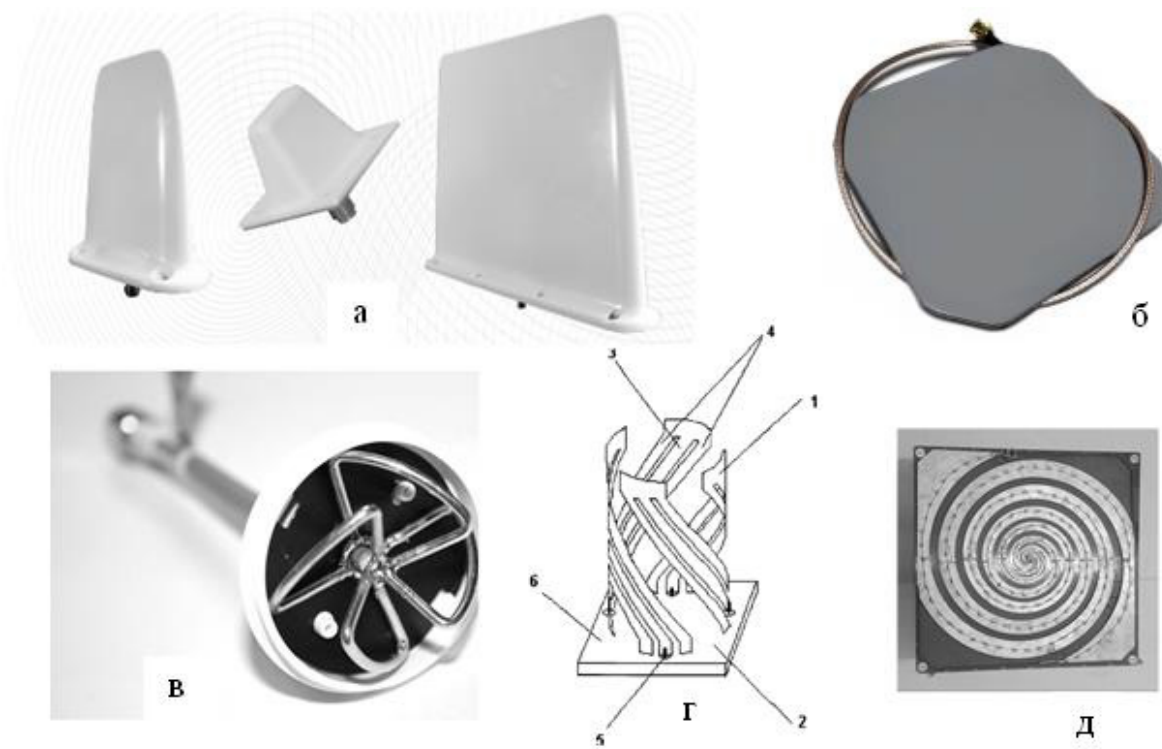


Рисунок 2. Примеры антенн БПЛА. Штыревые килевидные (а), конформные (б), спиральные: «леденец» (в), квадрифилярная (г), плоская (д)

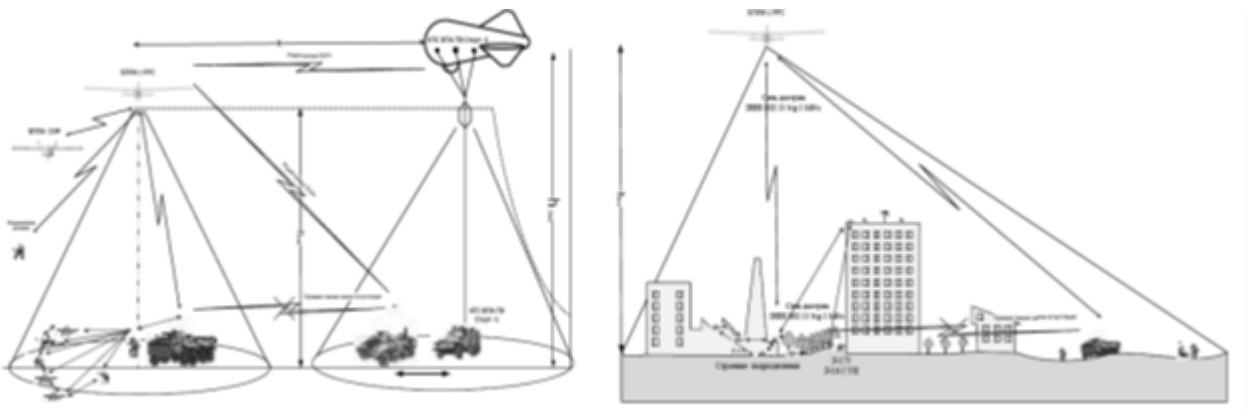


Рисунок 3. Ретрансляторы на БПЛА

тенны – симметричный, волновое сопротивление 200 Ом. Согласование с несимметричным трактом 50 Ом, при необходимости, осуществляется обычным способом – с помощью широкополосного трансформатора 50/200 Ом на длинных линиях с ферритовым магнитопроводом.

Расчеты основных характеристик обеих антенн проводились на основе методов и моделей, включая модель объекта установки (квадрокоптера), описанных в [10], для вариантов размещения антенн на нижней поверхности фюзеляжа квадрокоптера. Диапазоны рабочих частот были выбраны условно.

При этом для спиральной антенны рассматривались два варианта установки:

- горизонтальный (плоскость антенны параллельна нижней поверхности фюзеляжа), для связи с корреспондентами на Земле;
- вертикальный (плоскость антенны перпендикулярна нижней поверхности фюзеляжа), для связи с корреспондентами на воздушных носителях, прежде всего – с другими БПЛА.

Излучение/прием спиральной антенной волн круговой поляризации создает дополнительные преимущества, связанные с уменьшением зависимости уровня сигналов от эффектов деполяризации на трассах распространения радиоволн.

На рисунке 5 приведена характеристика коэффициента стоячей волны напряжения (КСВН) низкопрофильной антенны, установленной на БПЛА.

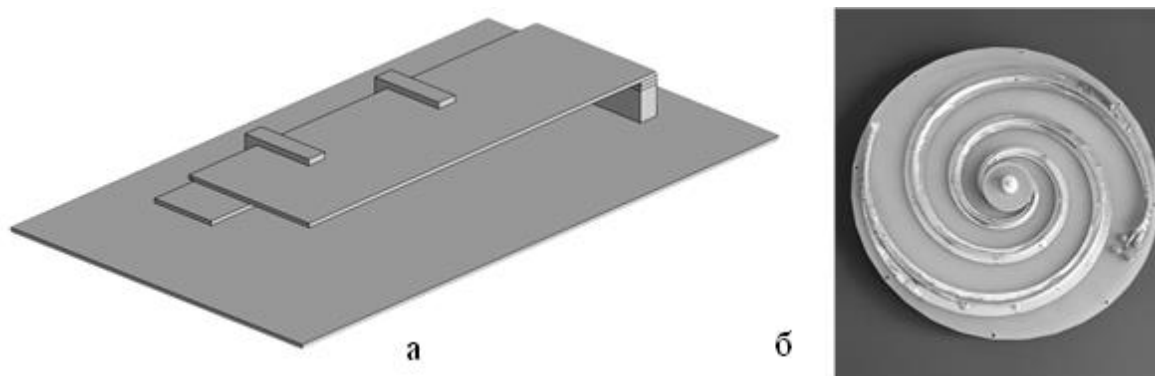


Рисунок 4. Излучающие структуры низкопрофильной (а) и спиральной (б) антенн для ретрансляторов на БПЛА

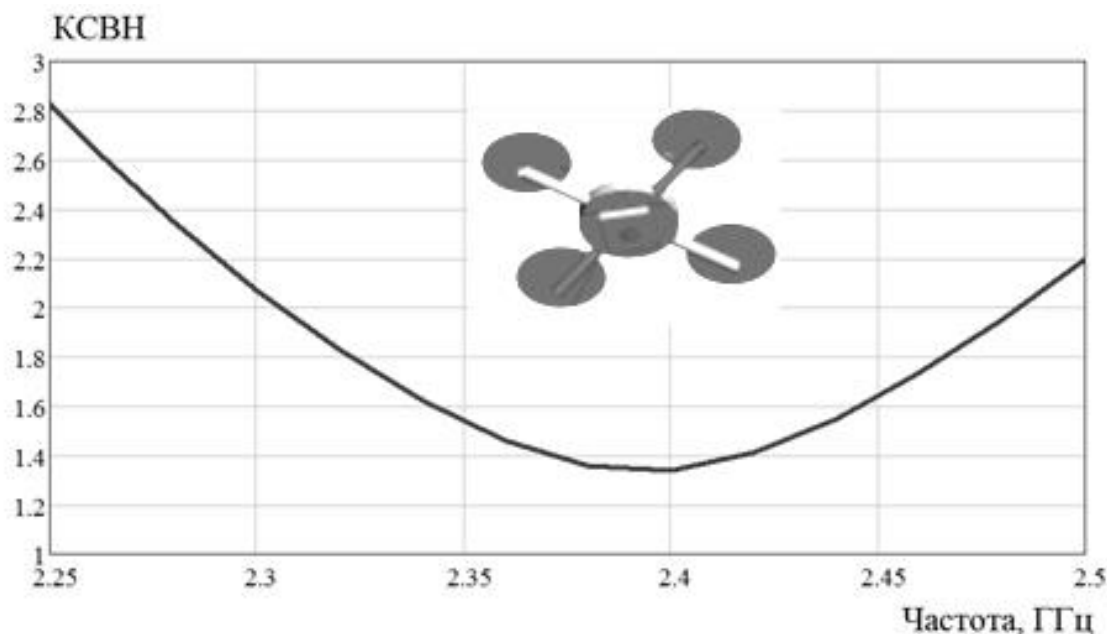


Рисунок 5. КСВН низкопрофильной антенны на квадрокоптере

Ширина рабочей полосы частот относительно невелика (около 7% по уровню КСВН не более 2,0), однако вполне достаточна для ретрансляции сигналов радиосвязи и широкополосного радиодоступа.

Характеристики направленности низкопрофильной антенны, установленной на БПЛА, на частоте 2,4 ГГц приведены на рисунке 6.

В азимутальной плоскости обеспечивается диаграмма направленности, достаточно близкая к круговой, с неравномерностью около 6 дБ. Угломестная диаграмма направленности – однолепестковая, ориентированная вертикально вниз, что соответствует тактическим требованиям, соответствующим ретрансляции сигналов наземных корреспондентов. Ширина лепестка по уровню 6 дБ – примерно 90°.

На рисунке 7 приведена характеристика КСВН спиральной антенны, размещенной на квадрокоптере.

В данном случае обеспечивается согласование в широкой полосе частот (около 130% по уровню КСВН 2,0).

Характеристики направленности спиральной антенны, установленной на БПЛА горизонтально, на частоте 1 ГГц приведены на рисунке 8.

В азимутальной плоскости обеспечивается диаграмма направленности, близкая к круговой (неравномерность менее 2 дБ). Угломестная диаграмма направленности, как и в предыдущем случае, однолепестковая, направленная вниз. Ширина лепестка по уровню 6 дБ – примерно 100°.

При вертикальной установке спиральной антенны на БПЛА (рисунок 9) формируются характеристики направленности, необходимые для ретрансляции сигналов, поступающих с других воздушных объектов.

Азимутальная диаграмма направленности – двухлепестковая, поэтому для эффективного приема необходима ориентация антенны на корре-

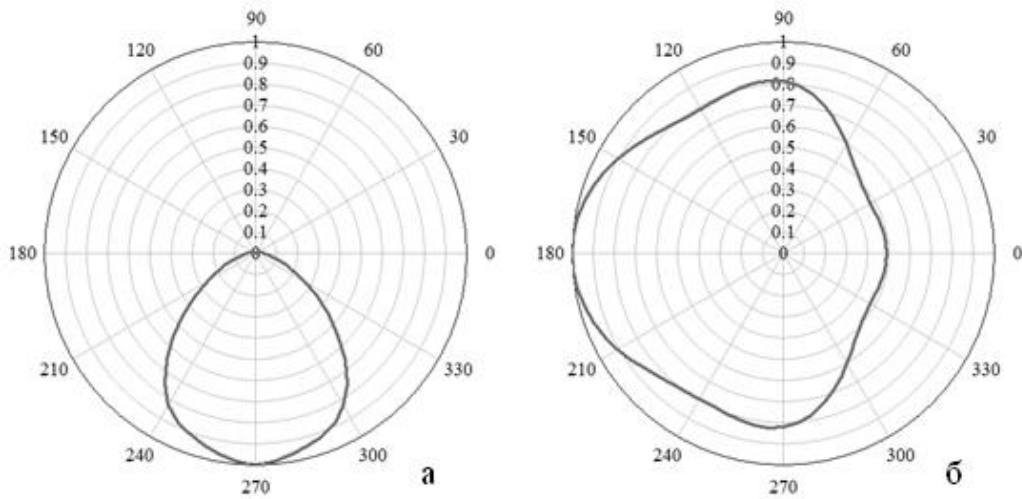


Рисунок 6. Угломестная (а) и азимутальная (б) диаграммы направленности низкопрофильной антенны на квадрокоптере

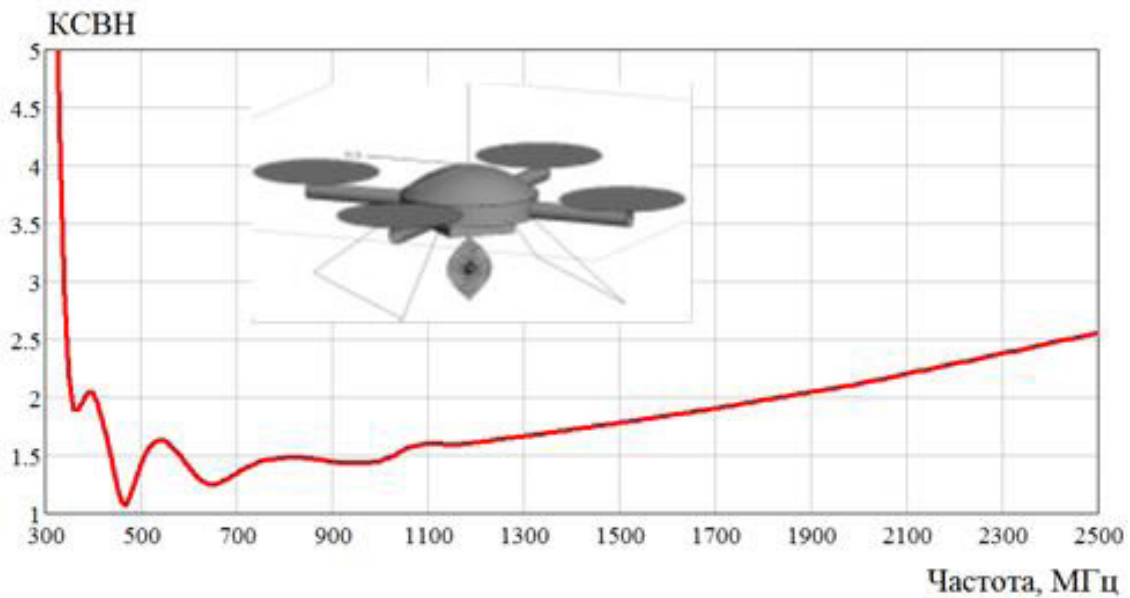


Рисунок 7. КСВН спиральной антенны на квадрокоптере

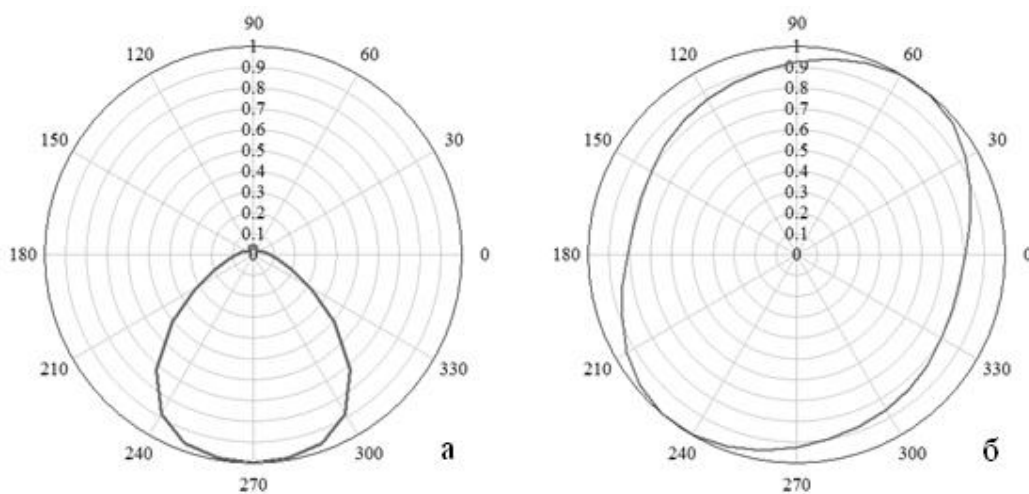


Рисунок 8. Угломестная (а) и азимутальная (б) диаграммы направленности спиральной антенны на квадрокоптере при горизонтальной установке

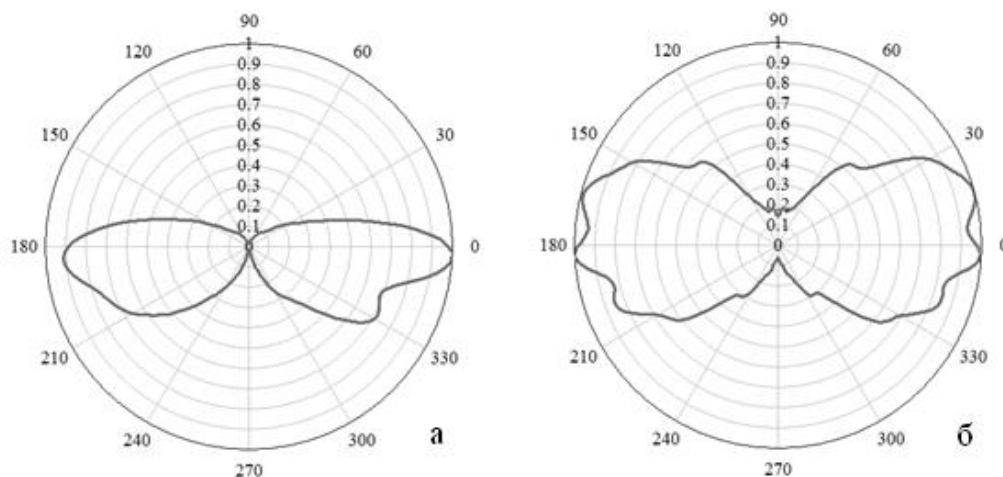


Рисунок 4. Излучающие структуры низкопрофильной (а) и спиральной (б) антенн для ретрансляторов на БПЛА

спондента. Ширина каждого лепестка по уровню 6 дБ – около 90°. Соответственно, два комплекта оборудования ретрансляции с такими антеннами способны обслуживать все азимутальные направления.

Угломестная диаграмма направленности в верхней полусфере несколько «сжата» вследствие экранирующего действия корпуса БПЛА.

Следует отметить, что весьма перспективным представляется гибкое решение на основе оперативного изменения (по команде или адаптивно) ориентации спиральной антенны, с вертикальной на горизонтальную и обратно, в соответствии с тактической обстановкой.

### Выводы

Проведенный анализ имеющихся сведений о радиолиниях БПЛА и существующих решений в области антенн для аппаратуры командных радиолиний управления и полезной нагрузки позволил обосновать перспективность использования низкопрофильных и спиральных антенн для ретрансляторов, размещаемых на БПЛА.

Проведенные исследования частотных и пространственных характеристик низкопрофильных и спиральных антенн при размещении на БПЛА подтвердили их достаточную эффективность.

Предложенные решения могут быть положены в основу разработки перспективных антенн для ретрансляторов, размещаемых на БПЛА.

### Литература

1. Макаренко С.И., Иванов М.С. Сетевая война – принципы, технологии, примеры и перспективы: монография. СПб.: Научно-технические технологии, 2018. 898 с.

2. Макаренко С.И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам: монография. СПб: Научно-технические технологии, 2020. 204 с.
3. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов [и др.]. Уфа: ФОТОН, 2014. 217 с.
4. Высокоэффективные антенные системы для беспилотных летательных аппаратов. URL: <https://ascam.aero/vyisokoeffektivnyie-antennyie-sistemyi-bespilotnyih-letatelnyih-apparatov/> (дата обращения: 03.05.2023).
5. Drone antenna types and simulation. URL: <https://www.cenos-platform.com/post/drone-antenna-types-simulation> (дата обращения: 15.04.2023).
6. Wireless Edge Ltd. Military antennas. URL: <https://www.mtiwe.com/?CategoryID=165&ArticleID=79> (дата обращения: 15.05.2023).
7. Drone antenna. URL: <https://www.aeroexpo.online/aeronautic-manufacturer/drone-antenna-3401.html> (дата обращения: 01.04.2023).
8. UAV Antenna Solutions. URL: <https://www.taoglas.com/product-cat-gory/iot-applications/uav-antenna-solutions/> (дата обращения: 15.04.2023).
9. Пылаев Н.А. Перспективы применения БЛА в качестве носителей ретрансляторов связи // Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: материалы II научно-практической конференции. Коломна: 924-й Государственный центр беспилотной авиации МО РФ, 2017. С.274–280.
10. Расчеты характеристик антенн для связи и ретрансляции, размещаемых на беспилотных летательных аппаратах самолетного и вертолетного типов / А.Л. Бузов [и др.] // Радиотехника. 2023. №6. С. 100–108.

11. Герасимов И.А., Минкин М.А. Сравнительный анализ характеристик низкопрофильной и штывровой антенн автомобильных абонентских радиостанций // Антенны. 2017. №4. С.48–54.
12. Копылов Д.А., Котков К.В. Антенны для увеличения дальности радиосвязи портативными

радиостанциями, оптимизированные с учетом температурных зависимостей и технологических допусков // Радиотехника. 2022. №6. С.61–66.

Получено 23.05.2023

**Котков Константин Витальевич**, директор по развитию и гражданской продукции Акционерного общества «Самарское инновационное предприятие радиосистем» (АО «СИП РС»). 443052, Российская Федерация, г. Самара, ул. Земеца, 26Б. Тел. +7 846 203-14-64. E-mail: kkv@siprs.ru

**Минкин Марк Абрамович**, д.т.н., главный научный сотрудник научного отдела 3 АО «СИП РС». 443052, Российская Федерация, г. Самара, ул. Земеца, 26Б. Тел. +7 846 203-19-63. E-mail: mma@siprs.ru

## ANTENNAS FOR INSTALLATION ON UNMANNED AERIAL VEHICLES

*Kotkov K.V., Minkin M.A.*

*Samara Innovative Enterprise of Radio Systems, Samara, Russian Federation*

*E-mail: mma@siprs.ru*

The widespread use of unmanned aerial vehicles for various purposes, expanding scope of their application and ever-increasing requirements for the durability of communication channels urgently require the development of new effective antenna solutions for the equipment of command radio control lines and payloads. The article is devoted to a brief analysis of the available information about the radio lines of unmanned aerial vehicles, solutions in the field of antennas for the equipment of command control radio lines and payload and the study of perspective antennas for the repeaters placed on unmanned aerial vehicles. The review of the general types of antennas that may be installed on unmanned aerial vehicles, including pin, microstrip and spiral ones, as well as antenna arrays based on them, made it possible to substantiate the prospects of using low-profile and spiral antennas for repeaters installed on unmanned aerial vehicles. The studies conducted on the frequency and spatial characteristics of low-profile and spiral antennas have confirmed their sufficient effectiveness. Proposed solutions can be used as a basis for development of perspective antennas for repeaters installed on unmanned aerial vehicles.

**Keywords:** *unmanned aerial vehicle, repeater on an unmanned aerial vehicle, low-profile antenna, spiral antenna*

**DOI:** 10.18469/ikt.2023.21.1.05

**Kotkov Konstantin Vitaliyevich**, Samara Innovative Enterprise of Radio Systems, 26B, Zemetsa Street, Samara, 443052, Russian Federation; Director of Development and Civil Products. Tel. +7 846 203-14-64. E-mail: kkv@siprs.ru

**Minkin Mark Abramovich**, Samara Innovative Enterprise of Radio Systems, 26B, Zemetsa Street, Samara, 443052, Russian Federation; Chief Researcher of the Scientific Department of 3, Doctor of Technical Sciences. Tel. +7 846 203-19-63. E-mail: mma@siprs.ru

### References

1. Makarenko S.I., Ivanov M.S. *Network-centric warfare – principles, technologies, examples and prospects: Monograph*. Saint Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2018, 898 p. (In Russ.)
2. Makarenko S.I. *Countering unmanned aerial vehicles: Monograph*. Saint Petersburg: Naukoemkie tekhnologii, 2020, 204 p. (In Russ.)
3. Fetisov V.S. et al. *Unmanned aviation: terminology, classification, current state*. Ufa: FOTON, 2014, 217 p. (In Russ.)



4. Highly efficient antenna systems for unmanned aerial vehicles. URL: <https://ascam.aero/vyisokoeffektivnyie-antennyie-sistemyi-bespilotnyih-letatelnyih-apparatov/> (accessed: 03.05.2023). (In Russ.)
5. Drone antenna types and simulation. URL: <https://www.cenos-platform.com/post/drone-antenna-types-simulation> (accessed: 15.04.2023).
6. Wireless Edge Ltd. Military antennas. URL: <https://www.mtiwe.com/?CategoryID=165&ArticleID=79> (accessed: 15.05.2023).
7. Drone antenna. URL: <https://www.aeroexpo.online/aeronautic-manufacturer/drone-antenna-3401.html> (accessed: 01.04.2023).
8. UAV Antenna Solutions. URL: <https://www.taoglas.com/product-category/iot-applications/uav-antenna-solutions/> (accessed: 15.04.2023).
9. Pylaev N.A. Prospects for the use of UAVs as carriers of communication repeaters. *Perspektivy razvitiya i primeneniya kompleksov s bespilotnymi leta-tel'nyimi apparatami: materialy II nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Kolomna: 924th State Center of Unmanned Aviation of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2017, pp.274–280. (In Russ.)
10. Buzov A.L. et al. Characteristic calculations of antennas for communication and retransmission placed on aircraft and helicopter unmanned aerial vehicles. *Radiotekhnika*, 2023, no. 6, pp. 100–108. (In Russ.)
11. Gerasimov I.A., Minkin M.A. Comparative analysis of the characteristics of a low-profile and whip antennas car radio subscriber. *Antenny*, 2017, no. 4, pp.48–54. (In Russ.)
12. Kopylov D.A., Kotkov K.V. Antennas for increasing the range of radio communication by portable radio stations, optimized taking into account temperature dependencies and technological tolerances. *Radiotekhnika*, 2022, no. 6, pp.61–66. (In Russ.)

Received 23.05.2023

## РАДИОПЕРЕДАЮЩИЕ И РАДИОПРИЕМНЫЕ УСТРОЙСТВА, ТЕЛЕВИДЕНИЕ

УДК 004

### СИСТЕМНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ В РОССИИ

Карякин В.Л.

*Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ*  
E-mail: [vl@karyakin.ru](mailto:vl@karyakin.ru)

Эксплуатация несертифицированного оборудования телерадиовещания, находящегося в 85 регионах России, является важнейшей проблемой развития региональных сетей вещания при отсутствии системных требований к сетевым передатчикам и наземным станциям спутниковых ретрансляторов в отечественном стандарте «Телевидение вещательное цифровое. Система эфирного наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2». Системные требования в стандарте являются основой актуализации требований к оборудованию при его сертификации. На основе проведенных автором исследований, опубликованных в отечественных и зарубежных статьях, защищенных патентами Российской Федерации, представлены требования, предъявляемые к сетевым передатчикам и земным станциям спутниковых ретрансляторов в одночастотных сетях телерадиовещания. В частности, сформулированы системные требования к оборудованию при формировании регионального мультиплекса, по метрологическому обеспечению эксплуатации одночастотных сетей SFN (Single Frequency Network) и по распределенной системе мониторинга качества телерадиовещания стандарта DVB-T2. Представлены также требования по оценке эффективности работы сетей SFN, что позволит в дальнейшем модернизировать существующие региональные сети для повышения их надежности и качества телерадиовещания во всех 85 регионах РФ, сертифицировать оборудование в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации. Результаты, проведенных автором исследований, позволят разработать системный проект по созданию эфирного цифрового телевизионного вещания в четырех новых регионах России. Рассматриваются перспективы развития оборудования стандарта DVB-T2 на программном уровне.