

ОБЗОР БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ БПЛА В РАЗНЫХ СТРАНАХ

А. Н. Бондарев¹, Р. В. Киричек^{1*}

¹ СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: kirichek@sut.ru

Аннотация

В настоящее время все большее распространение получают беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Многообразие сфер применения предполагает использование разных типов БПЛА. Одним из наиболее распространенных БПЛА являются квадрокоптеры общего пользования. Такие беспилотные летательные аппараты свободно продаются в магазинах и используются в основном для видеосъемки, развлечений, транспортировки небольших грузов и навесного оборудования. Вместе с тем, увеличения таких БПЛА в городах влечет серьезные проблемы из-за вероятности столкновения с препятствиями и неквалифицированным управлением. В статье приведена классификация БПЛА, характеристики беспроводных каналов связи наиболее распространенных малых БПЛА общего пользования, а также обзор нормативной базы по регулированию воздушного движения малых БПЛА в разных странах.

Ключевые слова

беспилотные летательные аппараты, дистанционное управление, связь, радиоканал, квадрокоптер, регулирование.

Информация о статье

УДК 004.716

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 11.09.16, принята к печати 25.11.16.

Ссылка для цитирования: Бондарев А. Н., Киричек Р. В. Обзор беспилотных летательных аппаратов общего пользования и регулирования воздушного движения БПЛА в разных странах // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 4. С. 13–23.

OVERVIEW OF UNMANNED AERIAL APPARATUS FOR GENERAL USE AND REGULATION OF AIR UAV MOVEMENT IN DIFFERENT COUNTRIES

A. Bondarev¹, R. Kirichek^{1*}

¹ SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

* Corresponding author: kirichek@sut.ru

Abstract—Currently becoming more prevalent unmanned aerial vehicles (UAVs). Diversity of spheres of application involves the use of different types of UAVS. One of the most prevalent UAV are kvadroptery for general use. Such drones are freely sold in stores and is used mainly for video, entertainment, transportation of small cargoes and equipment. However, the increase of such UAVS in cities involves serious problems due to the likelihood of collisions with obstacles and improper management. The article describes the classification of UAV, wireless communications channels characteristics most common small UAVS for general use, as well as a review of the regulatory framework for the management of air traffic for small UAV in different countries.

Keywords—Unmanned aerial vehicles, remote control, communication, radio, kvadrokopter, regulation.

Article info

Article in Russian.

Received 11.09.16, accepted 25.11.16.

For citation: Bondarev A., Kirichek R.: Overview of Unmanned Aerial Apparatus for General use and Regulation of Air UAV Movement in Different Countries // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 4. pp. 13–23 (in Russian).

Введение

Беспилотные летательные аппараты, являются беспилотным авиационным комплексом (БПАК), отличительной чертой, которых является отсутствие пилота на борту [1]. Полет такого комплекса может функционировать с различной степенью автономии: с помощью устройства дистанционного управления; с помощью системы автоматического пилотирования, функционирующей как на самом устройстве, так и на устройстве мониторинга и управления полетом. По сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами, БПЛА предназначены для выполнения миссий, представляющих существенную опасность для людей, а также миссий, имеющих неоправданный большой расход ресурсов на выполнение примитивных действий. В БПЛА может быть установлено соответствующее программное обеспечение на выполнение различных задач в автономном режиме, то есть без участия человека.

Изначально БПЛА создавались предпочтительно для военных целей, но с развитием технологий БПЛА нашли свое применение в гражданских сферах (патрулирование и наблюдение, доставка товара, аэрофотосъемка, видеосъемка, сельское хозяйство и др.) (рис. 1) [2].

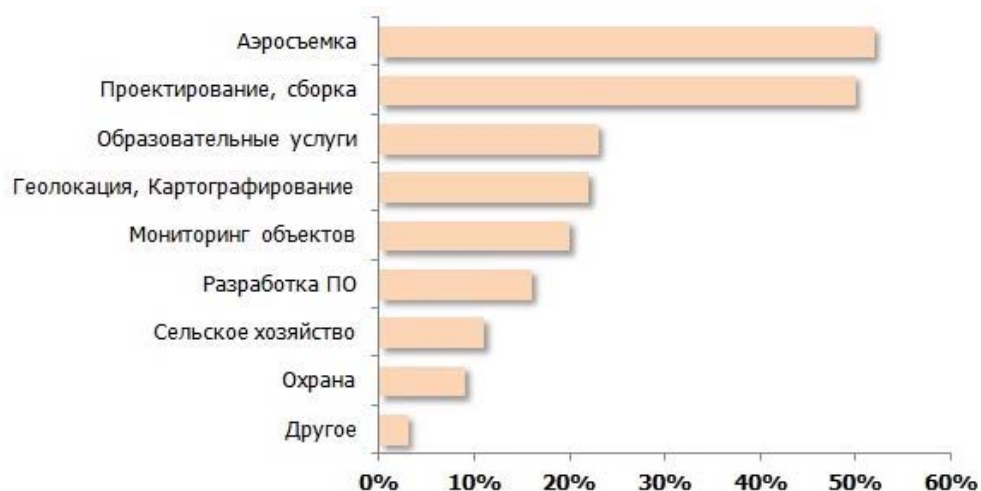


Рис. 1. Использование БПЛА в различных сферах гражданской деятельности

В настоящее время активно развиваются технологии группового взаимодействия беспилотных летательных аппаратов¹. Такой вид взаимодействия получил название – летающие сенсорные сети [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Основная задача летающей сенсорной сети сбор данных с сенсорных узлов, расположенных на значительном удалении от сети связи общего пользования (ССОП) с помощью БПЛА (или группы БПЛА) и доставка данных в ССОП [8, 9, 10].

Согласно обзора, подготовленного компаний J'son & Partners Consulting, в 2016 году мировой рынок БПЛА оценивается в 7,3 млрд долларов. Составлен прогноз, что он сможет увеличиться до 9,5 млрд долларов к 2020 году. Рынок БПЛА в России в 2016 году составлял 147 млн долларов с потенциалом роста до 224 млн долларов к 2020 году (рис. 2)².



Рис. 2. Оценка мирового рынка БПЛА в млрд долларов на 2016 г. и с прогнозом на 2020 г.

¹ NIYAU MIFI. UAV Networks and Data Transfer. URL: http://nano-e.ucoz.ru/publ/seti_mifi/domashnie_zadaniya_po_setjam/otchet_po_dz1_po_kursu_seti_kompjuterov_na_temu_bpila_i_peredacha_s_nikh_dannykh/10-1-0-287

² DroneZon, Drone Technology. URL: <https://www.dronezon.com>

Классификация беспилотных летальных аппаратов

Классификация беспилотных летальных аппаратов может производиться по различным критериям [1], таким как:

- сфера использования;
- тип системы управления;
- правила полета (визуальные, приборные и визуально-приборные);
- класс воздушного пространства (сегрегированные и несегрегированные);
- тип крыла (самолётные, вертолётные и конвертоплановые);
- направление взлета/посадки;
- тип взлета/посадки;
- тип двигателя;
- топливная система;
- тип топливного бака;
- количество использований;
- категория (с учётом массы и максимальной дальности действия);
- радиус действия;
- высота использования;
- функциональное назначение.

Рассмотрим такой критерий как система управления ввиду того, что взаимодействие данной системы по беспроводным каналам связи с оператором или системой регулирования воздушного движения является ключевой. По данному критерию БПЛА можно классифицировать как³:

- дистанционно пилотируемые – управляются непосредственно оператором в зоне видимости через наземную станцию;
- дистанционно управляемые – работают автономно, но могут потенциально управляться пилотом или оператором, использующим только обратную связь, через другие подсистемы контроля;
- автоматические – выполняют предварительно запрограммированные действия без управления пилотом и не имеют возможности изменять план действий во время полёта или адаптироваться к внешним изменениям, но многоразовые могут перепрограммироваться перед каждым вылетом с учетом изменения окружающей среды и собранного материала на предыдущих вылетах;
- дистанционно-управляемые авиационной системой – выполняют низкоуровневое управление встроенными системами или наземной станцией, а высокоуровневое управление траекторией полёта и/или состояния контролируется оператором;
- беспилотно-автоматические – полётом управляют полностью встроенные беспилотные автоматические системы без вмешательства оператора или использования наземной станции, которые могут быть перепрограммированы с учётом изменений в среде или новых целях.

В настоящее время все большее распространение в гражданской сфере получили FPV-БПЛА мультикоптеры. FPV – это сокращение от англ. First Person

³ Там же

View (вид от первого лица) и представляет собой способ управления БПЛА с помощью видеокамеры на борту, которая в реальном времени передает видеоданные пилоту мультикоптера, что позволяет управлять квадрокоптером вне поле человеческого зрения. Мультикоптер – это летательное средство, реализованное по вертолетной схеме с тремя или более несущими винтами, использующее бесколлекторные электродвигатели и литий-полимерные аккумуляторы в качестве источника энергии. Управляются такие средства дистанционно посредством связи по радиоканалу полетного контроллера БПЛА и пульта радиуправления. Общая схема управления показана на рис. 3. С пульта управления подаются заданные команды на приемник БПЛА, после приема данные передаются на полетный контроллер, который включает в себя реализацию и распределение всех основных функций мультикоптера. На основе принятой команды и показаний датчиков, которые реализованы на конкретном аппарате, встроенное программное обеспечение на основе определённого алгоритма отправляет управляющие сигналы на двигатели БПЛА. Следовательно, полетный контроллер является своего рода «мозгом» летательного аппарата.

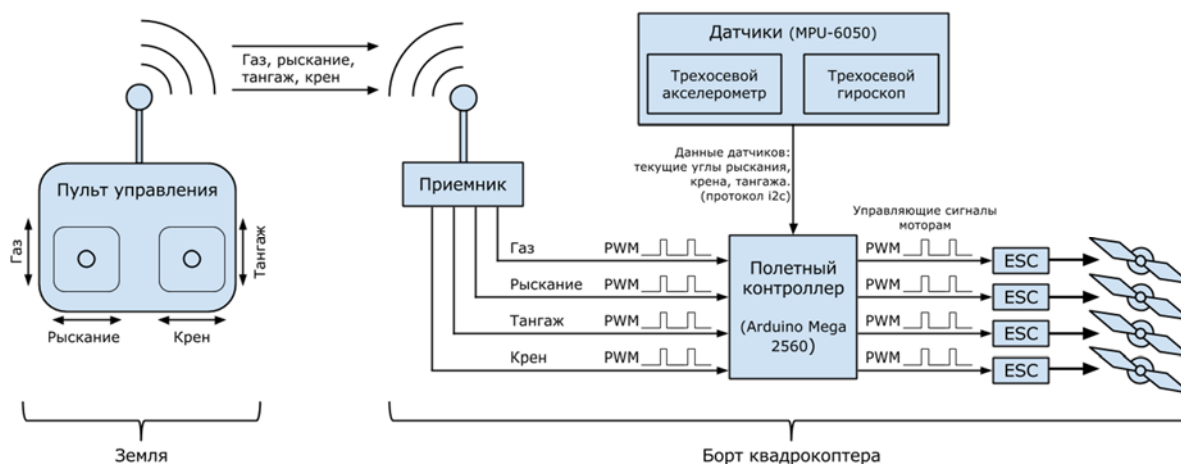


Рис. 3. Общая схема взаимодействия пульта управления и внутренних компонентов БПЛА на основе полетного контроллера Arduino Mega 2560

Обзор беспроводных каналов связи для дистанционного управления мультикоптерами

Рассмотрим наиболее распространенные модели БПЛА общего пользования, ориентированные на FPV взаимодействие с пилотом. Наиболее распространённые FPV системы состоят из следующих частей: камера, видео передатчик, видео приемник, дисплей. Для передачи видеосигнала используются различные частотные диапазоны. Наиболее распространенные частоты для передачи видео с БПЛА:

- 900 МГц,
- 1,2–1,3 ГГц,
- 2,4 ГГц,
- 5,8 ГГц.

Как известно, чем ниже частота и больше длина волны, тем больше проникающая способность, но больше физические габариты антенны. Кроме того,

не все FPV частоты можно использовать в той или иной стране, так как некоторые диапазоны могут быть зарезервированы для государственных органов и других специальных организаций. На данный момент для передачи потокового видео с камеры БПЛА наиболее распространена в большинстве стран частота 5,8 ГГц по следующим причинам:

- законно в большинстве стран;
- малогабаритная антенна;
- низкая стоимость;
- широкая распространенность;
- не влияет или влияет незначительно на частоту 2,4 ГГц (частота WiFi сигнала).

Каждая частота имеет установленное число каналов. Например, на частоте 5,8 ГГц – 32 канала. Это позволяет пилотам подбирать разные каналы при совместных полетах, не мешая при этом друг другу управлять устройством. Рассмотренные характеристики передаваемого оборудования у некоторых БПЛА общего пользования, с возможностью пилотировать аппарат от первого лица, наиболее распространённых в мире в 2016 году (табл.)⁴.

Таблица.

Характеристики радиооборудования распространённых БПЛА
общего пользования компании DJI

	Частота радиосвязи (ГГц)	Мощность передающего модуля	Дальность передачи сигнала
DJI Phantom 3 Professional	2,4 – 2,483	20 dBm (соответствие FCC); 16 dBm (соответствие CE). По информации на RCGroups DJI Phantom 3 в Европе самостоятельно (автоматически по данным GPS) уменьшает мощность передатчика.	FCC: до 5 км (на открытом пространстве); CE: до 3,5 км (на открытом пространстве).
DJI Phantom 3 Standart	5,725 – 5,825 (Япония: 0,922 – 0,927)	20 dBm (соответствие FCC); 16 dBm (соответствие CE).	FCC: 1200 м; CE: 500 м (на открытом пространстве, в 120 м над точкой взлета).
DJI Phantom 4 Professional	2,4 – 2,483	23 dBm (соответствие FCC); 17 dBm (соответствие CE).	FCC: 7 км; CE: 3,5 км; SRRC: 4 км.

Квадрокоптеры компании 3D Robotics - 3DR IRIS+, Solo, X8 и др. функционируют на базе полетного контроллера Pixhawk, который предполагает возможность работать на двух частотах: телеметрия 915 МГц (США) или 433 МГц (Европа), канал управления – 2,4 ГГц [11].

Как видно из рис. 4, управление осуществляется с помощью приемопередатчика 3DR Radio v2 на частоте 433 МГц (либо 915 МГц в зависимости от модели) и пульта дистанционного управления на частоте 2,4 ГГц. Информационный обмен осуществляется в пакетном режиме с использованием протокола MAVLink. Данный протокол не использует шифрование и применяется в большинстве БПЛА общего пользования самолетного и вертолетного типа.

⁴ DJI. URL: <http://www.dji.com/ru>

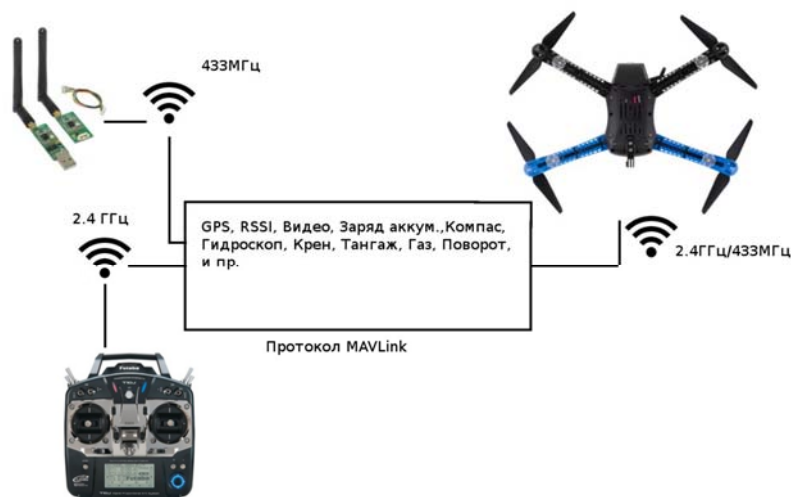


Рис. 4. Каналы управления БПЛА компании 3D Robotics

Ниже представлено описание ряда БПЛА менее распространенных по сравнению с рассмотренными выше.

Квадрокоптеры PARROT взаимодействуют с пультом управления на базе технологии Wi-Fi: IEEE 802.11 a/b/g/n/ac, MIMO на частоте 2,4 и 5 ГГц, с мощностью передающего модуля 26dBm.

Квадрокоптеры Walkera QR X350 Pro в качестве блока управления используют фирменный контроллер DEVO-M и полетный контроллер Arducopter, на частоте 2,4 ГГц.

Квадрокоптеры фирмы Hubsan серий H* PRO получают команды управления на частоте 2,4 ГГц. Трансляция видео на пульт управления происходит на частоте 5,8 ГГц.

Квадрокоптеры фирмы Cheerson моделей CX-* имеют Wi-Fi приемопередатчик, поэтому управление происходит на частоте 2,4 ГГц.

Регулирование использования малых БПЛА в различных странах⁵

Федеральное Управление Гражданской Авиацией США (FAA) с августа 2016-го года внесло изменение в законодательство, касающиеся использования БПЛА [12]. Согласно некоторым выдержкам из этого документа известно, что коммерческие БПЛА должны весить до 55 кг, высота полета до 122 м, скорость не более 100 км/ч. Коммерческие БПЛА могут активно эксплуатироваться только в дневное время. Пилоты «коммерческих БПЛА должны иметь соответствующие сертификаты, позволяющие им управлять данными аппаратами и быть не младше 16 лет. Да введения этих правил был обнародован еще один документ, который устанавливает, что с декабря 2015 года все владельцы БПЛА обязаны провести регистрацию своих аппаратов. Нарушителям грозит штраф в размере 27 000 долларов.

⁵ Regulation of Drones. URL: <https://www.loc.gov/law/help/regulation-of-drones/regulation-of-drones.pdf>

Для малых БПЛА (вес от 250 гр до 25 кг), которые предполагается использовать в некоммерческих целях остаются те же условия соблюдения высоты полета и времени пилотирования. Кроме того, в каждом штате вводятся свои нормы и правила полетов, поэтому в каждом отдельном случае необходимо руководствоваться не только требованиями FAA, но и требованиями местных властей. К настоящему моменту в США произведено уже более 300 000 регистраций БПЛА.

В Великобритании все вопросы по лицензированию и разрешению на пилотирование БПЛА регулирует Управление гражданской авиации (CAA). Согласно британскому законодательству управление разрешено только в зоне прямой видимости, которая составляет пространство в 500 м по горизонтали и в 122 м по вертикали. Также БПЛА, которые оснащены фото- и видеокамерой, запрещается приближать к человеку, зданию, автомобилю менее чем на 50 м. Некоммерческие аппараты нельзя пилотировать над большим скоплением людей. Также, британские власти пытаются внедрить норму о программировании БПЛА, чтобы автоматически ограничивать зону их действия, например, не позволять им приближаться к аэропортам. В настоящее время в ряде квадрокоптеров эти ограничения уже введены. Например, у квадрокоптеров компании DJI при планировании миссии автоматически показываются запретные зоны в соответствии с картами Google.

В Таиланде до 2016 года были запрещены любые полеты всех видов БПЛА с видеокамерой на борту. Согласно новому закону с мая 2017 г. возможно пилотировать БПЛА без лицензии, если их вес составляет не более 2 кг, а аппарат используется сугубо для личных целей. Кроме этого, необходимо всегда держать БПЛА в поле зрения и совершать полет только в дневное время суток. Высота полета БПЛА не должна превышать 90 м. Запрещено пилотировать БПЛА рядом с правительственными объектами, нельзя посягать на частную жизнь, а также запрещается приближаться менее чем на 30 м к людям, зданиям и транспорту.

Во Вьетнаме пилотирование БПЛА полностью запрещено, как и ввоз данного оборудования на территорию страны. По приезду в страну устройство будет изъято до выезда из страны. Всеми пунктами по совершению пилотирований на том или ином средстве занимается Министерство обороны.

В России полеты БПЛА регулируются законом, который вступит в силу с 5 июля 2017: «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов», согласно которого⁶:

- владелец радиоуправляемого аппарата весом от 250 граммов обязан зарегистрировать летающее устройство (получить лицензию пилота).
- полёты БПЛА согласно нововведённого порядка необходимо согласовать с органами Росавиации (должно быть разрешение на осуществление полётов).
- требование соблюдения правил полётов.

Кроме этого, в документе сказано, что запрещено летать над людьми во избежание несчастных случаев при падении БПЛА. Совершать полёты над охраняемыми зонами (военные и административные объекты, аэропорты) и на высоте выше 150 метров. В настоящее время не известно, как и каким образом будет осуществляться идентификация БПЛА и контроль за пилотированием БПЛА.

⁶ Infocopter Portal, Новости мира коптеров [Электронный ресурс] / URL: <http://infocopter.ru> (Дата обращения 13.01.2017).

В этой связи на базе лаборатории Интернета вещей СПбГУТ начаты поисковые исследования по методам идентификации БПЛА и контроля из движения в условиях плотной городской застройки.

Заключение

Рассмотрев приемо-передающие характеристики одних из популярных моделей БПЛА на 2016 год, можно сделать вывод, что частота радиосигнала, при которой будет транслироваться видео с летательного аппарата на пульт управления, а также с которой будет производиться управление мультикоптера, зависит от фирмы и модели производителя. Большинство моделей для управления используют частоту 2,4 ГГц, а для передачи видео 5,8 ГГц. Изменения данных условий можно добиться путем приобретения и настройки дополнительного оборудования. 2,4 ГГц – это частота Wi-Fi сигнала, поэтому если полеты и управление БПЛА планируются в городских условиях, где данная частота сигнала получила широкое распространение, то это может вызвать большое количество помех в связи с летательным аппаратом, что может привести к потере контроля над устройством. Для передачи сигнала на частоте 900 МГц потребуются большие антенны, что может негативно сказаться на мобильности и транспортабельности управляющего оборудования, однако 900 МГц имеет хороший огибающий сигнал, что позволяет добиться качественного управления за различными объектами ландшафта. 1,2 ГГц и 2,4 ГГц – наводят помехи на приемник квадрокоптера (управление осуществляется на частоте 2,4 ГГц), отлететь дальше 100 метров от точки взлета становится сложным, необходимо наличие и настройка определенного оборудования для экранирования видеопередатчика и проводов, разнесения антенн приемопередающего оборудования и др. Использование сигнала с частотой 5,8 ГГц – для FPV полетов позволяет передавать видеотрансляцию в хорошем качестве и имеет небольшую антенну в виде «клевера». Минусом данной частоты являются помехи при полёте аппарата за зеленые и различные органические насаждения, и, так как частота волны высокая, она имеет малую огибающую способность.

Данный результат обзора показал, что на данный момент не существует общего решения для выбора в пользу той или иной технологии передачи данных, так как все будет зависеть от места, цели и задачи использования БПЛА. Следовательно, выбор конфигурации для использования на открытой местности может не походить под требования для полетов в городских условиях. Поэтому для поиска универсальных решений необходимы более тщательные исследования в данной области.

Литература

1. Корченко А. Г., Ильяш О. С. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов // Сборник научных работ. Харьковский университет Воздушных Сил. 2012. № 4 (33). С. 27-36.
2. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В. Летающие сенсорные сети – новое приложение Интернета Вещей // IV Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». 2015. Т. 1. С. 17-22.
3. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Парамонов А. И., Прокопьев А. В., Богданов И. А., Дорт-Гольц А. А. Летающие сенсорные сети // Электросвязь. 2014. № 9. С. 2–5.

4. Koucheryavy A., Vladyko A., Kirichek R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2015. Vol. 9247. pp. 299–308. DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_27.
5. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В. Теоретические и практические направления исследований в области летающих сенсорных сетей // *Электросвязь*. 2015. № 7. С. 9–11.
6. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Маколкина М. А., Парамонов А. И., Выборнова А. И., Пирмагомедов Р. Я. Перспективы научных исследований в области сетей связи на 2017–2020 годы // *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2016. Т. 4. № 3. С. 1–14. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/1-14.pdf>
7. Kirichek R., Kulik V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // *Communications in Computer and Information Science*. 2016. Vol. 678. pp. 442–453. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_39.
8. Kirichek R., Paramonov A., Koucheryavy A. Flying Ubiquitous Sensor Networks as a Queuing System // *17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*. 2015. pp. 127–132. DOI: 10.1109/ICACT.2015.7224771.
9. Kirichek R., Paramonov A., Varedzhyan K. Optimization of the UAV-P's Motion Trajectory in Public Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN-P) // *Lecture Notes in Computer Science*. 2015. Vol. 9247. pp. 352–366. DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_32.
10. Gupta L., Jain R., Vaszkun G. Survey of Important Issues in UAV Communication Networks // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016. Vol. 18 (2). pp. 1123–1152.
11. Киричек Р. В., Кулешов А. А., Кучерявый А. Е. Метод обнаружения беспилотных летательных аппаратов на базе анализа трафика // *Труды учебных заведений связи*. 2016. № 1. С. 77–82.
12. Villasenor J. "Drones" and the Future of Domestic Aviation // *Proceedings of the IEEE*. 2014. Vol. 102. No. 3. pp. 235–238. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2302875.

References

1. Korchenko, A. G., Ilyash, O. S. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов // *Collection of Scientific Papers. Kharkov Air Force University*. 2012. No. 4 (33). pp. 27–36.
2. Koucheryavy, A. E., Vladyko, A. G., Kirichek, R. V. Flying Sensor Networks – New Application of the Internet of Things // *IV International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference «Actual Problems of Education in Science and Education»*. 2015. Т. 1. pp. 17–22.
3. Koucheryavy, A. E., Vladyko, A. G., Kirichek, R. V., Paramonov, A. I., Prokopiev, A. V., Bogdanov, I. A., Dort-Goltz, A. A. Flying Sensor Networks // *Electrosvyaz'*. 2014. No. 9. pp. 2–5.
4. Koucheryavy, A., Vladyko, A., Kirichek, R. State of the Art and Research Challenges for Public Flying Ubiquitous Sensor Networks // *Lecture Notes in Computer Science*. 2015. Vol. 9247. pp. 299–308. DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_27.
5. Koucheryavy, A. E., Vladyko, A. G., Kirichek, R. V. Theoretical and Practical Research Trends in the Field of Flying Ubiquitous Sensor Networks // *Electrosvyaz'*. 2015. No. 7. pp. 9–11.
6. Koucheryavy, A. E., Vladyko, A. G., Kirichek, R. V., Makolkina, M. A., Paramonov, A. I., Vybornova, A. I., Pirmagomedov, R. Ya.: The Prospects for Research in the Field of Communications Networks on the 2017-2020 Years // *Telecom IT*. 2016. Vol. 4. No. 3. pp. 1–14. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20163/1-14.pdf>
7. Kirichek, R., Kulik, V. Long-Range Data Transmission on Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN) by Using LPWAN Protocols // *Communications in Computer and Information Science*. 2016. Vol. 678. pp. 442–453. DOI: 10.1007/978-3-319-51917-3_39.
8. Kirichek, R., Paramonov, A., Koucheryavy, A. Flying Ubiquitous Sensor Networks as a Queuing System // *17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*. 2015. pp. 127–132. DOI: 10.1109/ICACT.2015.7224771.
9. Kirichek, R., Paramonov, A., Varedzhyan, K. Optimization of the UAV-P's Motion Trajectory in Public Flying Ubiquitous Sensor Networks (FUSN-P) // *Lecture Notes in Computer Science*. 2015. Vol. 9247. pp. 352–366. DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_32.
10. Gupta, L., Jain, R., Vaszkun, G. Survey of Important Issues in UAV Communication Networks // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016. Vol. 18 (2). pp. 1123–1152.

11. Kirichek, R. V., Kuleshov, A. A., Koucheryavy, A. E. Methods for Detection of Unmanned Aerial Vehicles Based on the Analysis of Network // Trudy uchebnykh zavedenii svyazi. 2016. No. 1. pp. 77-82.

12. Villasenor, J. "Drones" and the Future of Domestic Aviation // Proceedings of the IEEE. 2014. Vol. 102. No. 3. pp. 235-238. DOI: 10.1109/JPROC.2014.2302875.

Бондарев Алексей Николаевич – магистрант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, lexuse93@inbox.ru

Киричек Руслан Валентинович – кандидат технических наук, доцент, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, kirichek@sut.ru

Bondarev Aleksey – undergraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, lexuse93@inbox.ru

Kirichek Ruslan – Ph.D., associate professor, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, kirichek@sut.ru