

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ «УМНОГО ГОРОДА»

А. Д. Вырелкин<sup>1\*</sup>, А. Е. Кучерявый<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: [vyrelkin@spbgut.ru](mailto:vyrelkin@spbgut.ru)

## Аннотация

**Предмет исследования.** Статья посвящена вопросам изучения развития одного из самых перспективных направлений в области развития беспроводных всепроникающих сенсорных сетей (ВСС), а также изучения особенностей и перспектив применения технологий межмашинных коммуникаций (M2M) на основе применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для решения задач «умного города». **Метод.** В исследовании был проведен анализ особенностей построения ВСС на основе применения БПЛА, образующих собой летающую сенсорную сеть (ЛСС), а также синтез полученных данных для определения возможности использования ЛСС и применения БПЛА в рамках архитектуры «умного города». **Основные результаты.** В ходе исследования рассмотрена специфика применения БПЛА для решения задач «умного города», обслуживания сенсорных узлов ВСС, а также рассмотрены возможные способы применения БПЛА для достижения целей автоматизации объектов городской инфраструктуры.

**Практическая значимость** данного исследования заключается в определении методов использования БПЛА, а также в определении возможности использования БПЛА в составе ЛСС, для решения задач «умного города» с учетом особенностей его архитектуры, в рамках которого предложена концепция использования БПЛА в качестве мобильного шлюза ВСС в составе распределенной системы управления (PCY).

В статье рассмотрены следующие положения: понятие «умный город» в рамках концепции M2M/IoT; цели и задачи «умного города»; основные принципы функционирования ВСС/ЛСС; рассмотрены методы использования беспилотных летательных аппаратов для решения задач «умного города», в частности для автоматизации объектов M2M инфраструктуры в составе PCY; проанализированы и обозначены возможные проблемы использования БПЛА в рамках «умного города».

## Ключевые слова

умный город, беспилотные летательные аппараты, БПЛА, межмашинные коммуникации, M2M, всепроникающая сенсорная сеть, ВСС, Интернет Вещей, IoT, летающая сенсорная сеть, ЛСС, автоматизированные информационные системы, АИС, инфокоммуникационные технологии, ИКТ, распределенная система управления, PCY.

## Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 21.01.17, принята к печати 28.02.17.

**Ссылка для цитирования:** Вырелкин А. Д., Кучерявый А. Е. Использование беспилотных летательных аппаратов для решения задач «умного города» // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 1. С. 105–113.

## USING OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR SOLVING THE PROBLEMS OF THE SMART CITY

A. Vyrelkin<sup>1\*</sup>, A. Koucheryavy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\* Corresponding author: vyrelkin@spbgut.ru

**Abstract—Research subject.** The article is devoted to the issues of studying the development of one of the most promising areas in the development of wireless all-penetrating sensor networks (WSNs) and studying the features and prospects of the use of inter-machine communication technologies (M2M) based on the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for solving the problems of the smart city. **Method.** The study analyzed the features of building WSNs based on the use of UAVs which form a flying sensor network (FSN). There was a synthesis of the obtained data to determine the possibility of using the FSNs within the framework of the smart city architecture. **Core results.** In this research were considered: the specific of using UAVs for solving the problems of the smart city, the problems of servicing the sensor units and possible ways of using UAVs to achieve the automation of urban infrastructure objects. Practical relevance of this research consists in the definition of methods and possibility of using UAVs for solving the problems of the smart cities taking into account the peculiarities of its architecture within the framework of which the concept of using UAV is proposed as a mobile WSNs gateway in a distributed control system (DCS).

The article considers the following provisions: smart city concept bases on M2M/IoT; goals and objectives of the smart city; basic principles of functioning of WSN/FSN; the methods of using unmanned aerial vehicles for solving the problems of smart city in particular for automation of M2M infrastructure objects in the DCS; analyzing and identify possible problems of using UAVs within the smart city.

**Keywords**—Smart city, unmanned aerial vehicles, inter-machine communications, an all-penetrating sensor network, Internet of Things, flying sensor network, automated information systems, information and communications technologies, distributed control system.

### Article info

Article in Russian.

Received 21.01.17, accepted 28.02.17.

**For citation:** Vyrelkin A., Koucheryavy A.: Using of Unmanned Aerial Vehicles for Solving the Problems of the Smart City // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 1. pp. 105–113 (in Russian).

### Введение

В настоящее время развитие всепроникающих сенсорных сетей в рамках концепции Интернета Вещей (англ. *Internet of Things*, IoT), а в частности так называемых летающих сенсорных сетей, построенных на новейших технологиях беспроводной связи, приобретает колоссальную популярность и находит свое применение в различных сферах человеческой деятельности. Развитие в обла-

сти беспроводных и вычислительных сетей, а также постоянное непрерывное совершенствование вычислительных программно-аппаратных средств, позволяет говорить о возможности появления «умных городов», построенных по принципу межмашинных коммуникации (англ. *Machine to Machine*, M2M), что обусловлено потребностью в автоматизации и мониторинге производственных, технологических, экономических, общественных и других процессов человеческой деятельности [1, 2].

### **Понятие «Умный город». Цели и задачи в рамках концепции M2M/IoT**

Понятие «умный город» характеризуется, в первую очередь, использованием последних достижений в области Интернет-технологий в целях мониторинга состояния объектов городской инфраструктуры, их контроля, а также, на основе полученных данных в результате мониторинга, оптимального распределения ресурсов и обеспечения безопасности граждан. К таким объектам можно отнести: мосты и туннели, автомобильные и железные дороги, системы связи, системы водоснабжения и водоотведения, системы электропитания, а также различные крупные промышленные объекты, аэропорты, железнодорожные вокзалы, морские порты и др. Кроме того, стоит отметить, что существующие автоматизированные информационные системы (АИС) позволяют гражданам наблюдать за состоянием городского хозяйства и работой коммунальных служб, посредством доступных на порталах АИС приложений, а социальные сети позволяют организовывать локальные Интернет-сообщества с помощью специализированных сервисов, при помощи которых может вестись мониторинг объектов городской инфраструктуры и их обслуживания.

Таким образом, в структурном аспекте «умный город» – это совокупность нескольких информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) и IoT, являющейся одной из основных технологий для реализации проекта «умный город».

С экономической точки зрения вопросов построения автоматизированных систем управления, «умный город» можно рассматривать как совокупность вертикальных рынков: информационных технологий, связи, транспортного, логистического, промышленного и других.

Необходимо отметить, что одним из перспективных направлений для реализации решения задач мониторинга и последующего использования аккумулированной информации в рамках концепции M2M/IoT является проектирование и развитие ВСС, представляющей собой распределённую систему равноправных сенсорных узлов (оконечные узлы). Важно понимать, что в большинстве случаев использования сенсорных сетей для мониторинга состояния городской среды сенсорные узлы располагаются в труднодоступных местах, часто представляющих угрозу для здоровья и жизни человека (подземные туннели, канализация, линии электропередач, высотные здания и т. д.), что ставит во главе угла проблему разработки альтернативных методов построения ВСС для достижения целей автоматизации объектов городской инфраструктуры, а также обслуживания сенсорных узлов ВСС.

## Использование БПЛА для решения задач «умного города»

Необходимость в решении вышеупомянутых задач ставит вопрос о необходимости проектировании и развитии более сложной структуры сенсорных сетей. Так ЛСС, являясь разновидностью ВСС, включает в себя сразу два сегмента сенсорной сети – наземная сегмент сенсорной сети (НСС) на основе стационарных или автономных сенсорных узлов и воздушный сегмент на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), снабженных автономными узлами связи [2]. Пример построения ЛСС представлен на рис. 1.

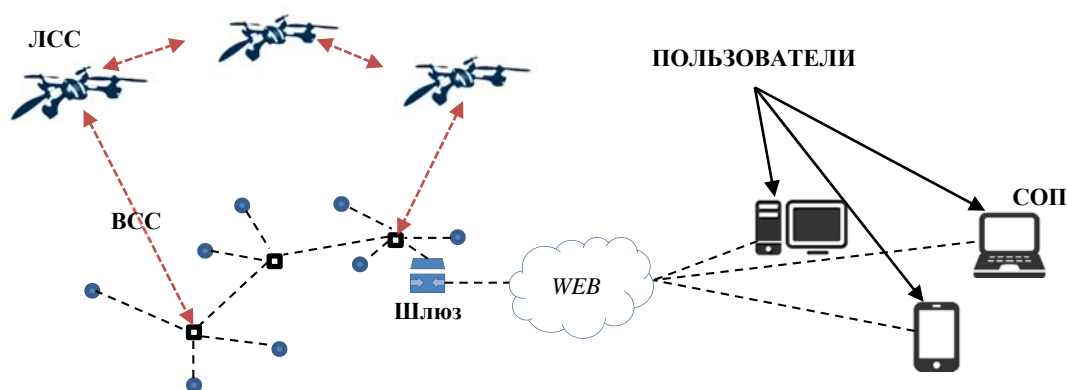


Рис. 1. Пример построения ЛСС и её взаимодействия с сетью общего пользования Интернет

Данный подход к построению ВСС даёт возможность решения сразу нескольких освещенных задач в рамках «умного города»: обеспечение мониторинга опасных для здоровья и жизни человека объектов городской инфраструктуры, инсталляции и обслуживания сетевых узлов в труднодоступных местах [3, 4], увеличения срока жизненного цикла сенсорной сети (в случае использования автономных узлов) [2, 5], эффективного сбора информации за счет оптимизации траектории движения БПЛА [6] при решении задач мониторинга городской среды и др.

### БПЛА в качестве мобильного шлюза ВСС в составе распределённой системы управления

Рассмотрим случай использования БПЛА в качестве мобильного шлюза ВСС в рамках распределённой системы управления. На рис. 2 представлена структура РСУ с применением технологий М2М. Данные со всех оконечных узлов ВСС с помощью специализированных шлюзов, в качестве которых могут выступать как стационарные, так и мобильные устройства (БПЛА), передаются в облачный сервис (рис. 3), где в последующем они аккумулируются и хранятся для дальнейшей обработки и использования. Исследование возможности применения БПЛА в качестве мобильного шлюза летающей сенсорной сети подробно рассмотрено в [5].

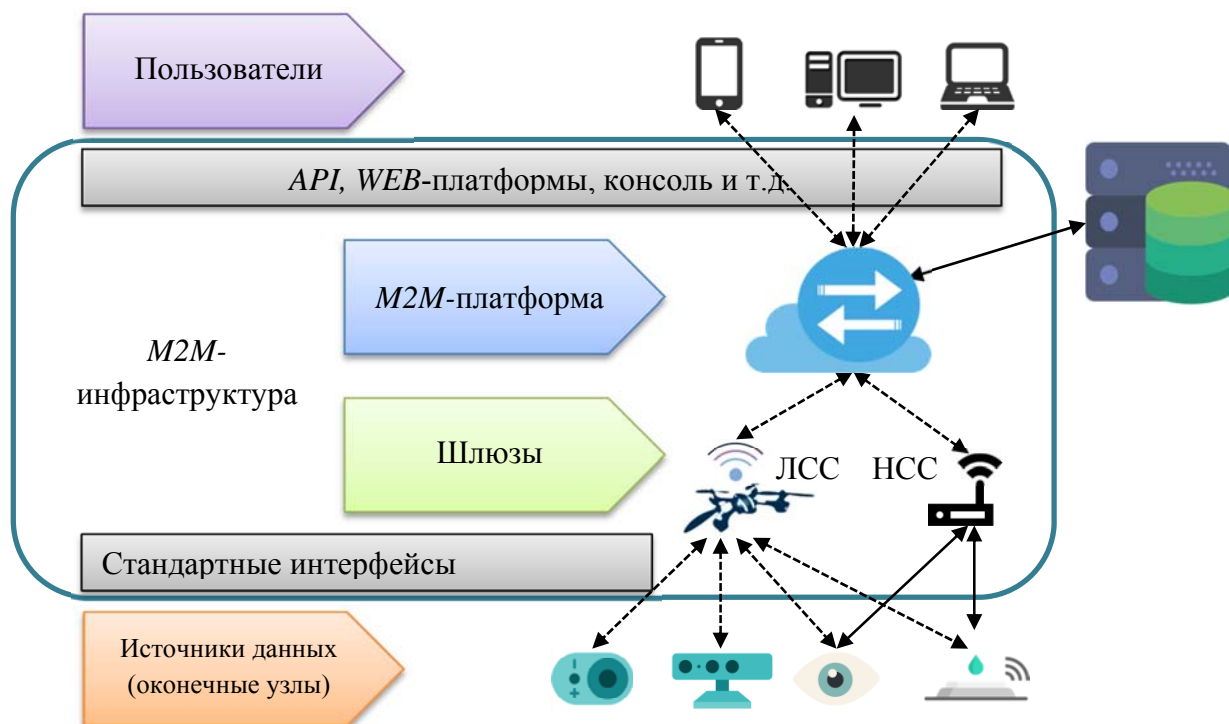


Рис. 2. Структура PCU с применением технологий M2M

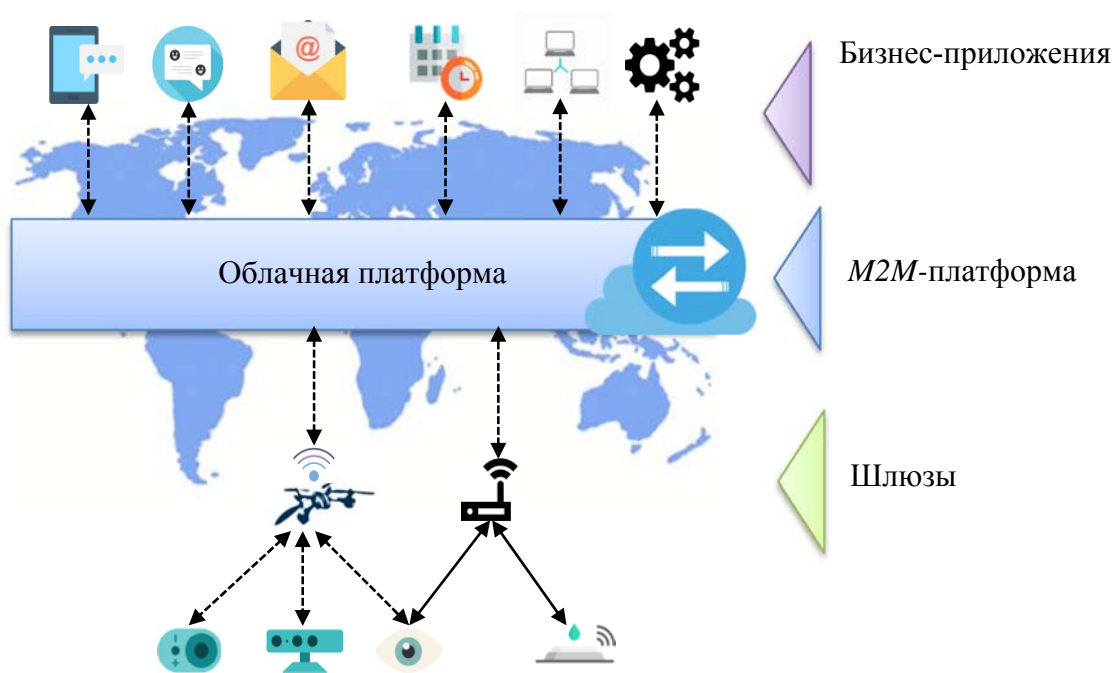


Рис. 3. Пример обмена данными между M2M шлюзами и пользователями посредством передачи данных, их хранения и обработки в облачной платформе

Применение БПЛА в качестве шлюзов значительно упрощает процесс сбора данных с конечных узлов за счет мобильности аппаратов, что позволяет добиться большей эффективности и снижения затрат при проектировании и вводе в действие PCU с целью решения задач автоматизации.

### Применение БПЛА в целях аэрофотосъемки для картографирования местности

Аэрофотосъёмка посредством БПЛА является одним из наиболее эффективных способов решения ещё одной задачи «умного города», заключающейся в необходимости создания топографических планов и карт, создания трёхмерных моделей рельефа местности, а также возможности съёмки высокого разрешения вблизи объектов с небольших высот и применения БПЛА в зонах чрезвычайных ситуаций без риска для жизни и здоровья людей.

Важно отметить, что в рамках концепции M2M/IoT, оснащенный камерой и сенсорным узлом связи БПЛА способен предавать данные соседним узлам (как наземного, так и воздушного сегмента сети) для координации своего местоположения, корректировки заданного маршрута движения, оперативной передачи телеметрических данных и отснятого фотоматериала через соседние узлы на сервер [6, 7]. На рисунке 4 показан процесс передачи данных от одного БПЛА другому, и дальше через узлы наземного сегмента сети по наименее загруженному маршруту.

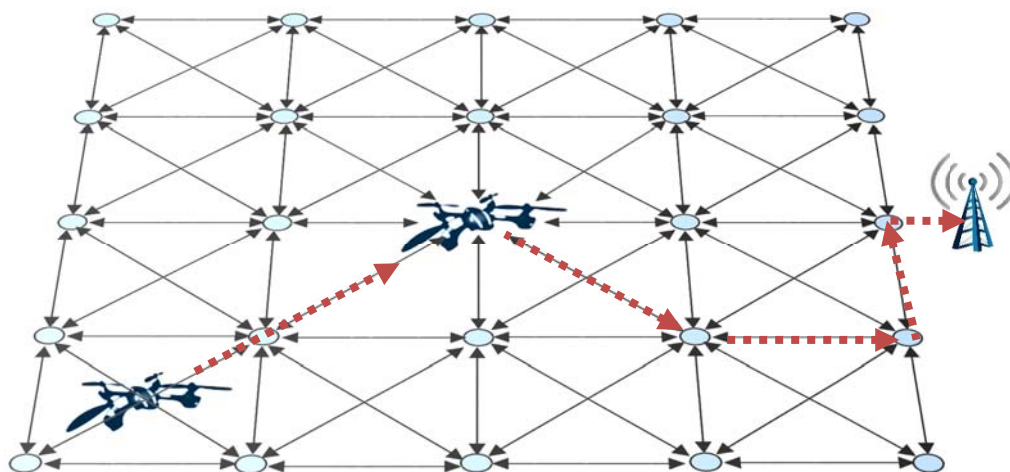


Рис. 4. Пример передачи данных между узлами ВСС по наилучшему маршруту

### Прочие прикладные задачи «умного города», решаемые посредством применения БПЛА

Учитывая вышеизложенный материал, рассмотрим прочие прикладные задачи «умного города», решение которых может быть основано с использованием БПЛА в рамках концепции M2M/IoT.

#### *Обеспечение общественной безопасности*

Оснащение БПЛА специализированными программно-аппаратными средствами, поддерживающими передачу данных по протоколам стандартов IEEE 802.15.4, RFID, LTE и другие, а также благодаря возможности передачи фотографических изображений в реальном времени открывает перспективы использования БПЛА в области обеспечения общественной безопасности с целью предотвращения вторжений на частную территорию (использование БПЛА в ка-



честве «патрульного»), преследования целей, ведения поисково-спасательных работ и т. д.

#### *Использование БПЛА в области сельского хозяйства и экологического менеджмента*

На сегодняшний день повышенный спрос на применение БПЛА предъявляет отрасль сельского хозяйства в связи с необходимостью проведения аэрофотосъемки для решения возникающих проблем при оценке состояния поля с наземной плоскости во время посева сельскохозяйственных культур растений, а также для обеспечения мониторинга состояния влажности воздуха и почвы, концентрации минеральных веществ и удобрений в почве и прочее. Также БПЛА востребованы в области охраны окружающей среды и обеспечении экологической безопасности в связи с необходимостью контроля уровня загрязненности атмосферного воздуха.

#### *Использование БПЛА в сфере услуг*

Согласно последним исследованиям и прогнозам ряда ведущих аналитических агентств к 2020 году БПЛА малого класса станут одним из основных средств по доставке различных грузов: доставка корреспонденции, перевозка малогабаритных грузов, доставка продуктов питания, и др. [8, 9]. Сегодня легкие БПЛА весом до 30 кг используются в основном для развлечений и проведения конкурсных соревнований. В этой связи вопросы использования малых БПЛА для коммерческой эксплуатации, а также регулирование движения БПЛА в воздушном пространстве остро стоят перед регулирующими органами различных государств [10].

### **Анализ возможных проблем использования БПЛА в рамках «умного города»**

Несмотря на очевидные перспективы и выгоды использования БПЛА для решения задач городской инфраструктуры, применение БПЛА в настоящее время находится в ожидании решения некоторых технических и организационных проблем, без чего использования БПЛА становится невозможным. Основным вопросом на сегодняшний день является отсутствие у БПЛА статуса воздушного судна ВС, а также отсутствие разрешения на использование БПЛА в воздушном пространстве.

### **Заключение**

В настоящее время технологии M2M/IoT предполагают практически безграничные возможности для решения задач в рамках «умного города». В этой связи использование БПЛА, оснащенного новейшими программно-аппаратными средствами, является идеальным инструментом для решения любых практических и научных задач в рамках «умного города». Основной проблемой стагнации в области разработки инженерных решений по автоматизации процессов на сегодняшний день является отсутствие нормативно-правовых актов, регламентирующих правила использования БПЛА в воздушном пространстве в городских условиях.

### Литература

1. Киричек Р. В., Владыко А. Г., Захаров М. В., Кучерявый А. Е. Модельные сети для интернета вещей и программируемых сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 3 (11). С. 17–26. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-15.pdf>
2. Вырелкин А. Д., Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В. Исследование возможности применения беспилотного летательного аппарата в качестве временного головного узла кластеров наземной сенсорной сети // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 1 (9). С. 27–34. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
3. Динь Ч. З., Киричек Р. В. Исследование инсталляции беспроводных сенсорных узлов с беспилотных летательных аппаратов различного типа // V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании». 2016. С. 344–348.
4. Киричек Р. В., Гришин И. В., Хундонугбо Э. Ф., Думин Д. И. Позиционирование элементов сенсорной сети с использованием беспилотных летательных аппаратов // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том. 4. № 2. С. 26–32. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20162/26-32.pdf>
5. Вырелкин А. Д., Выборнова А. И., Кучерявый А. Е. Исследование возможности применения БПЛА как мобильного шлюза летающей сенсорной сети для наземных автономных сенсорных сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том. 4. № 1. С. 29–36. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20161/29-36.pdf>
6. Варельдзян К. С., Парамонов А. И., Киричек Р. В. Оптимизация траектории движения БПЛА в летающих сенсорных сетях // Электросвязь. 2015. № 7. С. 20–25.
7. Kirichek R., Makolkina M., Sene J., Takhtuev V. Estimation quality parameters of transferring image and voice data over zigbee in transparent mode // Communications in computer and information science. 2016. С. 260–267.
8. Кучерявый А. Е., Владыко А. Г., Киричек Р. В., Парамонов А. И., Прокопьев А. В., Богданов А. И., Дорг-Гольц А. А. Летающие сенсорные сети // Электросвязь. 2014. № 9. С. 2–5.
9. 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. С. 17–22.
10. Киричек Р. В. Сети беспилотных летательных аппаратов как элемент инфраструктуры умных городов // В сборнике трудов 72-ой всероссийской научно-технической конференции, посвященной дню радио. СПб.: СПбГЭУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2017.

### References

1. Kirichek, R., Vladyko, A., Zakharov, M., Koucheryavy, A. Model Networks for Internet of Things and SDN // Telecom IT. 2015. Vol. 3 (11). pp. 17–26. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/3-15.pdf>
2. Vyrelkin, A., Koucheryavy, A., Prokopiev, A. Research Applications Unmanned Aerial Vehicles as a Temporary the Head Node Cluster Ground Sensor Networks // Telecom IT. 2015. Vol. 1 (9). pp. 27–34. URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/1-15.pdf>
3. Dinh, D., Kirichek, R. Research on the Installation of Wireless Sensor Nodes with Different types of Unmanned Aerial Vehicles // V International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference "Actual Problems of Education in Science and Education". 2016. pp. 344–348.
4. Kirichek, R., Grishin, I., Hundonugbo, E., Dumin, D.: Method of Positioning Elements of a Sensor Network Using Unmanned Aerial Vehicles // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 2. С. 26–32 (in Russian). URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20162/26-32.pdf>
5. Vyrelkin, A., Vybornova, A., Koucheryavy, A.: Analysis of UAV Implementation as a Mobile Cluster Head of the Ground-based Autonomous Sensor Networks // Telecom IT. 2016. Vol. 4. Iss. 1. pp. 29–36 (in Russian). URL: <http://www.sut.ru/doci/nauka/review/20161/29-36.pdf>
6. Varelzhyan, K., Paramonov, A., Kirichek, R. Optimization of the UAV's Motion Trajectory in Flying Ubiquitous Sensor Networks // Electrosvyaz'. 2015. No. 7. pp. 20–25.



7. Kirichek, R., Makolkina, M., Sene, J., Takhtuev, V. Estimation Quality Parameters of Transferring Image and Voice Data over ZigBee in Transparent Mode // Communications in Computer and Information Science. 2016. pp. 260–267.

8. Koucheryavy, A., Vladyko, A., Kirichek, R., Paramonov, A., Prokopiev, A., Bogdanov, A., Dort-Goltz, A. Flying Sensor Networks // Electrosvyaz'. 2014. No. 9. pp. 2–5.

9. Koucheryavy, A., Vladyko, A., Kirichek, R. Flying Sensor Networks — New Application of Internet of Things // IV International Scientific-Technical and Scientific-Methodical Conference "Actual Problems of Education in Science and Education". 2015. pp. 17–22.

10. Kirichek, R. Networks of Unmanned Aerial Vehicles as an Infrastructure Element of Smart Cities // 72 All-Russian Science and Technology Conference dedicated to the Day of Radio. 2017.

- Вырелкин Александр Дмитриевич*** – аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, vyrelkin@spbgut.ru
- Кучерявый Андрей Евгеньевич*** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация, akouch@mail.ru
- Vyrelkin Alexander*** – postgraduate, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, vyrelkin@spbgut.ru
- Koucheryavy Andrey*** – D.Sc., professor, Head of the Department, SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation, akouch@mail.ru