



# Аспекты оснащения объектов транспорта системами для контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов



*Швецова Светлана Валерьевна – Дальневосточный государственный университет путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск, Россия.*

Светлана ШВЕЦОВА

В настоящее время остаётся актуальной проблема обеспечения безопасности полётов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) над территорией объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ), прежде всего аэропортов.

Автором в одной из предыдущих работ вместе с соавтором был предложен метод повышения безопасности движения беспилотных летательных аппаратов и реализующая его система контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов (далее – СКМ), позволяющая обеспечить повышение безопасности движения БПЛА на объектах транспортной инфраструктуры за счёт ограничения зоны передвижения БПЛА строго в выделенном воздушном коридоре (ВВК). Разработка данной системы создаёт предпосылки для снятия существующих ограничений по применению беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры.

Для практического внедрения предложенной системы актуальным является вопрос по методике размещения СКМ на объектах транспортной инфраструктуры. Данное условие можно обосновать тем, что СКМ, как правило, будут расположены в условиях плотной инфраструктурной застройки, включающей опасные техни-

ческие элементы ОТИ, столкновение БПЛА с которыми может привести к чрезвычайной ситуации (ЧС), в непосредственной близости к СКМ по транспортным путям/коридорам будет осуществляться движение воздушных/наземных транспортных средств (ТС), по пешеходным путям будут передвигаться сотрудники, пассажиры и посетители ОТИ.

Цель настоящего исследования – разработать методику размещения систем контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры.

Проведённое с применением известных научных методов в том числе, базовой задачи маршрутизации, поставленной Данцигом и Рамсером, моделирования, анализа и синтеза исследование позволило разработать методику размещения систем контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры. Практическое применение предложенной методики позволяет строить маршруты для движения БПЛА на ОТИ, формировать на ОТИ сеть выделенных воздушных коридоров для БПЛА, эксплуатируемых совместно с системой, определять оптимальное место размещения элементов СКМ на ОТИ.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, БПЛА, объект транспортной инфраструктуры, система контроля маршрутов, методика размещения.

\*Информация об авторе:

**Швецова Светлана Валерьевна** – аспирант Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), Хабаровск, Россия, [transport-safety@mail.ru](mailto:transport-safety@mail.ru).

Статья поступила в редакцию 06.05.2020, актуализирована 24.08.2020, принята к публикации 28.08.2020.

For the English text of the article please see p. 91.

## ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные летательные аппараты являются одним из базовых элементов транспортной инфраструктуры следующего поколения, в основе которой будут лежать Интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект. Но, в настоящий момент, применение БПЛА в транспортном секторе, включая современные логистические центры при крупных авиационных узлах (хабах), сдерживается законодательными запретами [1]. «Такие запреты на полёты БПЛА над территорией объектов транспорта приняты в большинстве стран мира» [1], включая Россию [1–3]. Направлены такие ограничения, в первую очередь, на обеспечение безопасности объектов транспортной инфраструктуры и эксплуатируемых на них транспортных средств (ТС), а также персонала, посетителей и пассажиров [1; 2].

На решение задач по обеспечению безопасности полётов БПЛА в настоящее время направлены усилия многих учёных как в России, так и за рубежом. Можно выделить два основных направления исследований. Первое – это правовое регулирование в сфере применения БПЛА [1; 4–6], второе – разработка организационных и технических решений направленных на решение задач безопасности в рассматриваемой области [7–20].

Так, автором в работе [21] вместе с соавтором была предложена разработка, направленная на контроль маршрутов БПЛА при их полётах над территорией объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ), создающая предпосылки для снятия существующих ограничений по применению беспилотных летательных аппаратов на ОТИ, в том числе и аэропортах.

Необходимо отметить, что для практического применения вышеупомянутой разработки – системы контроля маршрутов (СКМ), актуальным является вопрос по методике размещения таких систем на объектах транспортной инфраструктуры. Данное условие можно обосновать тем, что системы контроля маршрутов, как правило, будут расположены в условиях плотной инфраструктурной застройки, включающей опасные технические элементы ОТИ, столкновение БПЛА с которыми может привести к ЧС [22]. В непосредственной

близости к СКМ по транспортным путям/коридорам будет осуществляться движение воздушных/наземных транспортных средств, по пешеходным путям будут передвигаться сотрудники, пассажиры и посетители ОТИ.

*Цель* настоящего исследования – разработать методику размещения систем контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры, что, по мнению автора, является необходимым условием обеспечения безопасности при эксплуатации БПЛА на ОТИ.

## МЕТОДИКА РАЗМЕЩЕНИЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ МАРШРУТОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Система контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов имеет следующие ограничения в применении:

- система применима в приложениях, предусматривающих движение БПЛА по определенному маршруту;
- система применима на наземных объектах транспортной инфраструктуры;
- система предназначена для работы с БПЛА вертикального взлёта и посадки, «вертолётного» типа.

Основные принципы, которыми необходимо руководствоваться при размещении систем контроля маршрутов на объектах транспортной инфраструктуры, заключаются в том, что БПЛА при движении не должны иметь возможности войти в соприкосновение с инфраструктурными элементами ОТИ, другими транспортными средствами, а также людьми. Встречные потоки движущихся БПЛА должны быть разделены не менее чем по двум не соприкасающимся выделенным воздушным коридорам.

Главное требование к месту размещения элементов системы контроля маршрута беспилотных летательных аппаратов – наличие на выбранной территории бесперебойного сигнала GSM (или другого применяемого сигнала), обеспечивающего связь оператор–БПЛА.

Алгоритм размещения СКМ на ОТИ, можно разбить на четыре этапа, показанных на рис. 1.



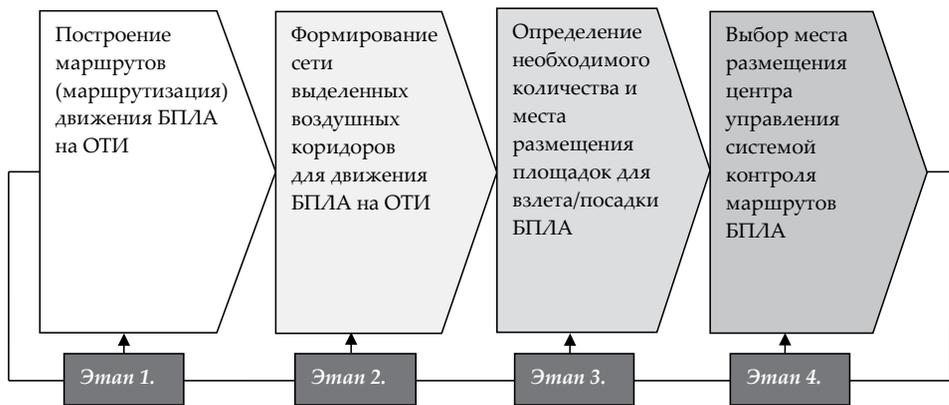


Рис. 1. Алгоритм размещения СКМ на ОТИ [подготовлен автором].

Для реализации этапов размещения СКМ (рис. 1) необходима цифровая карта (модель) ОТИ, на которой будут отражены: здания и сооружения, наземные и надземные коммуникации, пути (коридоры) движения ТС, пешеходные пути и другие структурные элементы ОТИ. Опасные элементы рассматриваемого объекта транспортной инфраструктуры, столкновение БПЛА с которыми может привести к ЧС, должны быть выделены на карте (модели) ОТИ особо.

*Этап первый – построение маршрутов (маршрутизация) движения БПЛА на ОТИ.*

На данном этапе формулируются цели применения БПЛА, на основе которых определяют исходные, промежуточные и конечные точки маршрутов<sup>1</sup>, их количество и координаты.

Исходным и конечным точкам маршрута можно дать обозначение – базовые точки маршрута.

Маршрут движения БПЛА может быть одноточечным, когда точка взлёта и посадки находится в одном месте. Возможны варианты, когда маршрут движения БПЛА объединяет две точки, такой маршрут можно обозначить как двухточечный, а с большим количеством точек взлёта/посадки маршрут будет являться многоточечным.

Точки взлёта/посадки наносятся на цифровую карту (модель) ОТИ, обозначен-

ные базовых и промежуточных точек должно отличаться. По данным точкам выполняется маршрутизация движения БПЛА на ОТИ.

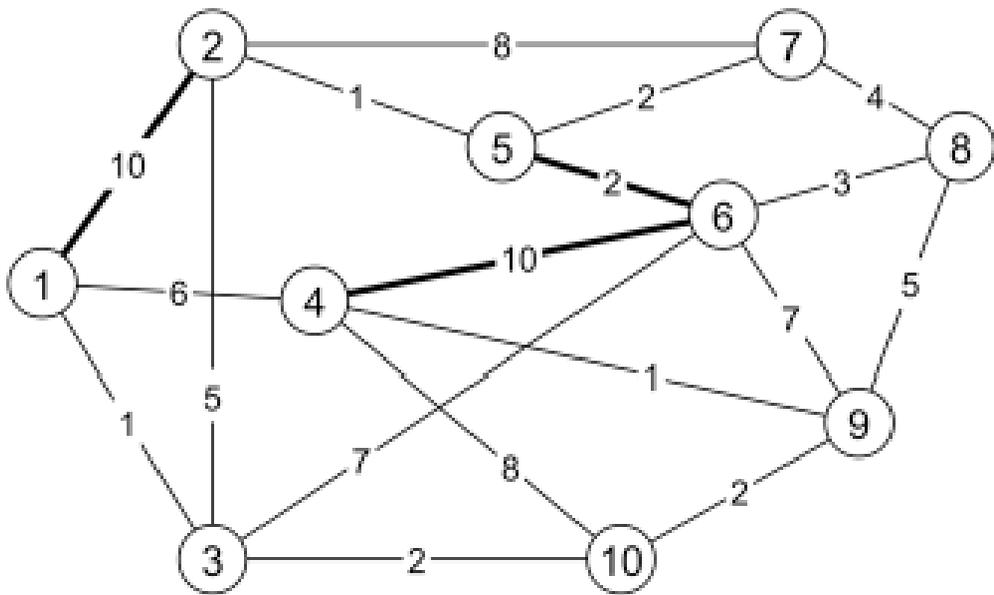
Основной принцип прокладки маршрутов движения БПЛА на ОТИ – минимальная длина маршрута, применение данного принципа позволяет максимально эффективно использовать ограниченный заряд батарей БПЛА.

Исходя из данного принципа, целесообразно использовать для маршрутизации движения БПЛА на ОТИ базовую задачу маршрутизации (VRP – Vehicle Routing Problem), поставленную Данцигом и Рамсером [23], а также задачи типа почтальонов [24–26]. При выборе маршрута оптимальным маршрутом будет тот, который имеет минимальную протяжённость, «такой маршрут называется «эйлеровым маршрутом», а содержащий его граф – «эйлеровым графом» [24]. При этом «требуется найти в графе  $H = (V, U)$ , цикл, включающий все вершины из  $N$  и все ребра из  $R$  и имеющий минимальную сумму весов входящих в него рёбер. Очевидно, если этот цикл простой, то он является оптимальным кольцевым маршрутом» [24] (рис. 2).

Принцип минимальной длины маршрута не применяется при условии, что маршрут движения задан целью (целями) применения БПЛА, например, при его движении вдоль периметра ОТИ для целей мониторинга безопасности объекта. В таком случае маршрут прокладывается, исходя из целей применения БПЛА, в рас-

<sup>1</sup> Точки маршрутов:

– исходные точки маршрутов – место взлёта БПЛА;  
– промежуточные точки маршрутов – место промежуточной посадки/взлёта БПЛА;  
– конечные точки маршрутов – место посадки БПЛА.



**Рис. 2. Транспортная сеть, где  $N = \{3, 9\}$ ,  $R = \{\{1, 2\}, \{6, 5\}, \{4, 6\}\}$ ,  $V(R) = \{1, 2, 4, 5, 6\}$ ;  $(1, 2, 5, 6, 4, 9, 10, 3, 1)$ , является оптимальным кольцевым маршрутом [24].**

смотренном случае – вдоль периметра ОТИ.

Сформированная сеть маршрутов БПЛА заносится в цифровую карту (модель) ОТИ.

*Этап второй – формирование сети выделенных воздушных коридоров для движения БПЛА.*

Формирование сети выделенных воздушных коридоров выполняется на основе сформированных в цифровой карте ОТИ сети маршрутов. Воздушный коридор выделяется в соответствии с проложенным маршрутом, при этом его траектория корректируется с учётом расположенных на пути прохождения воздушного коридора зданий и сооружений, путей/коридоров движения других ТС, коммуникаций, пешеходных путей и других оказывающих влияние факторов. Одним из таких факторов, влияющих на корректировку траектории ВВК, является необходимость учёта технологических условий монтажа опор-кронштейнов, на которые устанавливается монорельс.

Корректировка траектории выделенного воздушного коридора относительно проложенного маршрута выполняется, исходя из принципа минимального увеличения протяжённости коридора, основанного на ограниченном заряде батарей БПЛА.

Началом ВВК будет являться точка взлёта БПЛА в начале маршрута, окончанием ВВК будет являться точка посадки БПЛА в конце маршрута.

Осью ВВК будет являться траектория движения наземной подвижной платформы.

Окружность ВВК ( $C_{AP}$ ) можно рассчитать по формуле:

$$C_{AP} = (C_L + 1/2M_S + D_V) \cdot 2,$$

где  $C_L$  – длина удерживающего троса;

$M_S$  – длина подвижной платформы;

$D_V$  – длина БПЛА.

*Этап третий – определение необходимого количества и места размещения площадок предназначенных для взлета/посадки БПЛА (далее – посадочные площадки (ПП)).*

Посадочные площадки размещаются как на базовых, так и в промежуточных точках маршрута движения БПЛА, также дополнительно могут быть предусмотрены ПП для целей технологических операций с БПЛА, таких как смена батарей, бортового оборудования и подобных операций, в других местах маршрута БПЛА. В каждой базовой либо промежуточной точке маршрута может быть предусмотрено несколько ПП.

Размер и форма посадочной площадки определяются с учётом габаритов применяемых БПЛА, состава планируемых



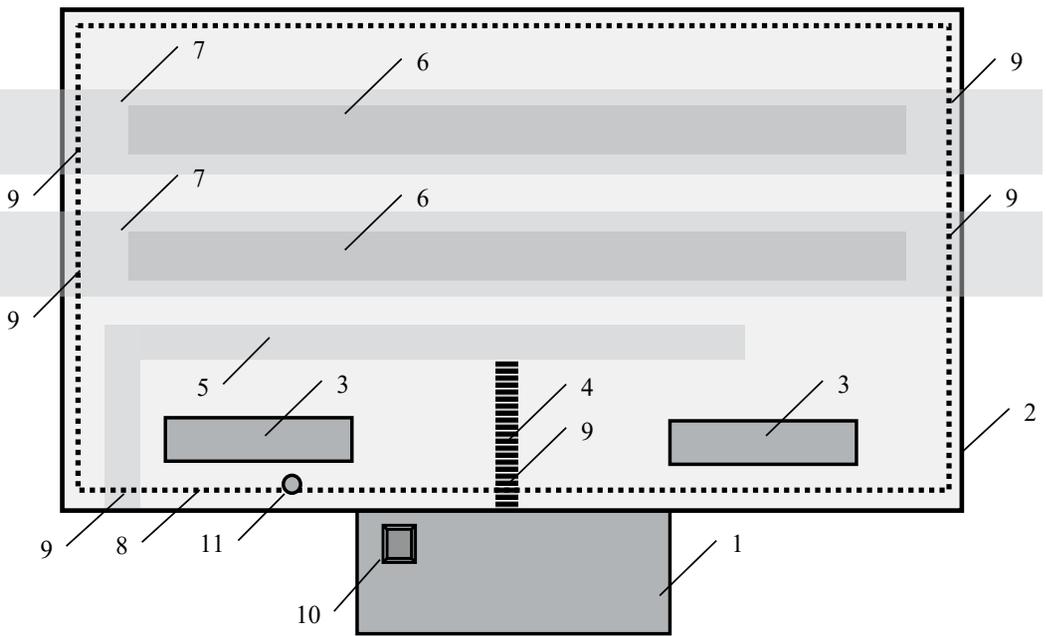


Рис. 3. Схема размещения системы контроля маршрутов БПЛА, на объекте транспортной инфраструктуры – аэропорт [составлено автором].

технологических операций с БПЛА, а также особенностей прилегающей территории.

К местам размещения ПП при необходимости предусматриваются ответвления от монорельса, что позволяет не блокировать движение по монорельсу других БПЛА, а также размещать посадочные площадки не только рядом с основным монорельсом, но также на необходимом удалении, что расширяет возможности при выборе наиболее удобных мест расположения площадок и других элементов системы.

Общее количество посадочных площадок не ограничивается и зависит от условий эксплуатации СКМ.

*Этап четвёртый – включает выбор места размещения центра управления системой контроля маршрутов БПЛА (ЦУС).*

Центр управления системой контроля маршрутов БПЛА включает операторов, дистанционно управляющих движением БПЛА, и программно-аппаратные комплексы, позволяющие операторам осуществлять дистанционное управление БПЛА. Кроме того, в составе центра управления системой могут быть предусмотрены другое дополнительное оборудование и сотрудники с целью повышения надёжности и производительности СКМ.

Главное требование к месту размещения ЦУС – наличие бесперебойного сигнала GSM (или другого применяемого сигнала), обеспечивающего связь оператор–БПЛА.

ЦУС может быть как единым, так и распределённым, состоящим из нескольких территориально распределённых рабочих мест операторов, управляющих движением БПЛА. Оптимальным является формирование единого ЦУС, в котором операторы находятся в непосредственном контакте друг с другом, организованного по типу центров управления воздушным движением.

Оптимальным местом размещения центра управления системой является то, с которого операторы могут наблюдать за движением БПЛА не только аппаратно, но и визуально.

Дополнительными факторами, учитываемыми при выборе места размещения ЦУС, являются:

- наличие подъездных автомобильных путей. Наличие таких путей позволит операторам и техперсоналу системы оперативно выезжать в распределённые точки СКМ для выполнения различных технологических операций, в том числе ремонтных;
- наличие в непосредственной близости площадки для взлёта/посадки БПЛА, экс-

платируемых совместно с СКМ. Наличие такой площадки позволит операторам и техперсоналу системы проводить необходимые технологические операции с БПЛА непосредственно рядом с центром управления;

- наличие резервной линии (источника) энергоснабжения. Наличие резервного источника энергоснабжения позволяет повысить надёжность функционирования СКМ;

- наличие охраны на входах в здание (помещение), в котором предполагается разместить ЦУС (центр управления СКМ). Наличие охраны позволяет повысить защищённость центра управления СКМ от несанкционированного вмешательства и воздействий;

- наличие на входах в помещение, в котором предполагается разместить ЦУС, системы контроля и управления доступом (СКУД). Наличие СКУД повысит защищённость центра управления СКМ от несанкционированного вмешательства и воздействий.

В конечном счёте, по данным, полученным на всех четырёх этапах, определяется место размещения СКМ на ОТИ. Место размещения элементов СКМ отражается в цифровой карте (модели) объекта транспортной инфраструктуры. Полученная схема размещения СКМ на ОТИ позволяет формировать техническое задание на создание системы контроля маршрутов БПЛА на рассмотренном объекте транспортной инфраструктуры.

Автором проведена апробация разработанной методики на универсальной модели аэропорта (рис. 3), содержащей следующие элементы: здание аэровокзала 1, периметр аэродрома 2, технические здания 3, пути для движения пешеходов 4, пути для движения наземных транспортных средств 5, взлётные полосы 6, воздушные коридоры, предназначенные для движения воздушных судов 7.

В предложенной модели аэропорта было выполнено размещение СКМ, в которой маршрут движения БПЛА задан целью применения БПЛА: в рассматриваемом примере — мониторингом безопасности вдоль периметра аэродрома 2. Исходя из поставленных целей применения, был построен маршрут движения беспилотных

летательных аппаратов, на основе которого проложен ВВК 8 для передвижения БПЛА, в рассматриваемом примере — вдоль периметра. На полученной схеме размещения СКМ (рис. 3) определены места пересечения 9 ВВК с воздушными 7 и наземными 5 коридорами/путями для движения ТС, а также пешеходными путями 4. С учётом факторов, влияющих на выбор места размещения ЦУС, определено оптимальное место размещения центра управления системой 10, позволяющее вести наблюдение за движением БПЛА не только аппаратно, но и визуально, а также место размещения базовой точки маршрута 11 содержащей ПП.

В местах пересечения ВВК с воздушными коридорами 7 предусмотрено прохождение ВВК под воздушными коридорами 7. В местах пересечения ВВК с наземными коридорами/путями для движения ТС 5 и пешеходными путями 4 предусмотрено прохождение ВВК над коридорами/путями 5 и 4.

## ВЫВОДЫ

В настоящем исследовании разработана методика размещения систем контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры. В методике рассматриваются практические аспекты оснащения объектов транспорта системами для контроля маршрутов БПЛА. Внедрение систем, позволяющих контролировать маршруты полётов беспилотных летательных аппаратов, является необходимым условием обеспечения безопасности и создаёт необходимые условия для снятия существующих ограничений по применению беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Clothie, R. A., Williams, B. P., Fulton, N. L. Structuring the safety case for unmanned aircraft system operations in non-segregated airspace. *Safety Science*, 2015, Vol. 79, pp. 213–228. [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.007>. Доступ 17.02.2020.

2. Unmanned Aircraft Systems Advisory Group (UAS-AG). Офф. сайт ICAO. [Электронный ресурс]: [https://www.icao.int/safety/UA/Pages/Unmanned-Aircraft-Systems-Advisory-Group-\(UAS-AG\).aspx](https://www.icao.int/safety/UA/Pages/Unmanned-Aircraft-Systems-Advisory-Group-(UAS-AG).aspx). Доступ 17.02.2020.

3. Приказ Минтранса РФ от 09.03.2016 № 48 «Об установлении запретных зон». Офф. сайт Министер-



- ства юстиции РФ. [Электронный ресурс]: <https://minjust.consultant.ru/documents/19230>. Доступ 01.03.2020.
4. Altawy, R., Youssef, A. M. Security, Privacy, and Safety Aspects of Civilian Drones: A Survey. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 2016, Vol. 1, Iss. 2, Article No. 7, pp. 1–25. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/profile/Riham\\_Altawy/publication/313329204\\_Security\\_Privacy\\_and\\_Safety\\_Aspects\\_of\\_Civilian\\_Drones\\_A\\_Survey/links/5a4adb22458515f6b05b47e4/Security-Privacy-and-Safety-Aspects-of-Civilian-Drones-A-Survey.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Riham_Altawy/publication/313329204_Security_Privacy_and_Safety_Aspects_of_Civilian_Drones_A_Survey/links/5a4adb22458515f6b05b47e4/Security-Privacy-and-Safety-Aspects-of-Civilian-Drones-A-Survey.pdf). Доступ 01.03.2020. DOI: 10.1145/3001836.
5. Huttunen, M. Drone Operations in the Specific Category: A Unique Approach to Aviation Safety. *The Aviation & Space Journal*, 2019, Vol. 18, No. 2, pp. 2–21. [Электронный ресурс]: <http://www.aviationspacejournal.com/wp-content/uploads/2019/08/The-Aviation-Space-Journal-Year-XVIII-April-July-2019-1.pdf>. Доступ 01.03.2020.
6. Pérez-Castán, J. A. [et al]. Identification, Categorisation and Gaps of Safety Indicators for U-Space. *Energies*, 2020, Vol. 13 (3), pp. 1–17 (608). [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.3390/en13030608>. Доступ 01.03.2020.
7. SESAR2020. Официальный сайт Eurocontrol [Электронный ресурс]: <https://www.eurocontrol.int/sesar2020>. Доступ 10.03.2020.
8. Michel, A. Counter-Drone Systems. 1<sup>st</sup> ed.; Center for the Study of the Drone at Bard College, New York, NY, USA, 2018. [Электронный ресурс]: <https://dronecenter.bard.edu/files/2018/02/CSD-Counter-Drone-Systems-Report.pdf>. Доступ 15.02.2020.
9. Wild, G., Murray, J., Baxter, G. Exploring civil drone accidents and incidents to help prevent potential air disasters. *Aerospace*, Vol. 3, 2016, Iss. 3, pp. 22–32. [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.3390/aerospace3030022>. Доступ 01.03.2020.
10. Boeing's Compact Laser Weapons System: Sets Up in Minutes, Directs Energy in Seconds. [Электронный ресурс]: <https://www.youtube.com/watch?v=Ijp3-zjTrp0>. Доступ 17.03.2020.
11. Unmanned Aircraft System Traffic Management. Офиц. сайт National Aeronautics and Space Administration (NASA). [Электронный ресурс]: <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml>. Доступ 17.03.2020.
12. Civil drones (Unmanned aircraft). Официальный сайт European Aviation Safety Agency. [Электронный ресурс]: <https://www.easa.europa.eu/easa-and-you/civil-drones-gras#group-easa-related-content>. Доступ 10.02.2020.
13. NTU to develop traffic management solutions so drones can fly safely in Singapore's airspace. Официальный сайт Nanyang Technological University. [Электронный ресурс]: [http://news.ntu.edu.sg/news/Pages/NR2016\\_Dec28.aspx&Guid=20327ba4-b01-4a38-a86f-47e64d89ba0d&Category=All](http://news.ntu.edu.sg/Pages/NewsDetail.aspx?URL=http://news.ntu.edu.sg/news/Pages/NR2016_Dec28.aspx&Guid=20327ba4-b01-4a38-a86f-47e64d89ba0d&Category=All). Доступ 10.03.2020.
14. Pérez-Castán, J. A. [et al]. GRPAS conflict-risk assessment in non-segregated airspace. *Safety Science*, Vol. 111, 2019, pp. 7–16. [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.018>. Доступ 10.03.2020.
15. Lykou, G., Moustakas, D., Gritzalis, D. Defending Airports from UAS: A Survey on Cyber-Attacks and Counter-Drone Sensing Technologies. *Sensors*, Vol. 20, 2020, art. N. 3537. [Электронный ресурс]: DOI: <https://doi.org/10.3390/s20123537>. Доступ 10.08.2020.
16. Dietrich, B., Iff, S., Profelt, J. [et al]. Development of a local air surveillance system for security Purposes: Design and Core Characteristics. *European Journal for Security Research*, 2017, Vol. 2 (2), pp. 119–129. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/312551987\\_Development\\_of\\_a\\_Local\\_Air\\_Surveillance\\_System\\_for\\_Security\\_Purposes\\_Design\\_and\\_Core\\_Characteristics/download](https://www.researchgate.net/publication/312551987_Development_of_a_Local_Air_Surveillance_System_for_Security_Purposes_Design_and_Core_Characteristics/download). Доступ 10.03.2020.
17. Fioranelli, F., Ritchie, M., Griffiths, H., Borrión, H. Classification of Loaded/Unloaded Micro-Drones Using Multistatic Radar. *Electronics Letters*, 2015, Vol. 51, pp. 1813–1815. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/profile/Francesco\\_Fioranelli/publication/282334467\\_Classification\\_of\\_LoadedUnloaded\\_Micro-Drones\\_Using\\_Multistatic\\_Radar/links/561e48f808aecaade1ac65f63/Classification-of-Loaded-Unloaded-Micro-Drones-Using-Multistatic-Radar.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Fioranelli/publication/282334467_Classification_of_LoadedUnloaded_Micro-Drones_Using_Multistatic_Radar/links/561e48f808aecaade1ac65f63/Classification-of-Loaded-Unloaded-Micro-Drones-Using-Multistatic-Radar.pdf). Доступ 10.03.2020. DOI: 10.1049/el.2015.3038.
18. Xiufang Shi, Chaoqun Yang, Weige Xie, Chao Liang, Zhiguo Shi, Jiming Chen. Low-Complexity Portable Passive Drone Surveillance via SDR-Based Signal Processing. *IEEE Communications Magazine*, 2018, Vol. 56, No. 4, pp. 112–118. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/profile/Samith\\_Abeywickrama/publication/324511855\\_Low-Complexity\\_Portable\\_Passive\\_Drone\\_Surveillance\\_via\\_SDR-Based\\_Signal\\_Processing/links/5d3b1b1c4585153e59249c1a/Low-Complexity-Portable-Passive-Drone-Surveillance-via-SDR-Based-Signal-Processing.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Samith_Abeywickrama/publication/324511855_Low-Complexity_Portable_Passive_Drone_Surveillance_via_SDR-Based_Signal_Processing/links/5d3b1b1c4585153e59249c1a/Low-Complexity-Portable-Passive-Drone-Surveillance-via-SDR-Based-Signal-Processing.pdf). Доступ 10.03.2020. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700424.
19. Ritchie, M., Fioranelli, F., Griffiths, H., Torvik, B. Micro-drone ricks analysis. *IEEE Radar Conference*, Oct 2015, pp. 452–456. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/profile/Francesco\\_Fioranelli/publication/285164289\\_Micro-drone\\_RCS\\_analysis/links/5756806b08ae155a87b9d55a/Micro-drone-RCS-analysis.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francesco_Fioranelli/publication/285164289_Micro-drone_RCS_analysis/links/5756806b08ae155a87b9d55a/Micro-drone-RCS-analysis.pdf). Доступ 10.03.2020. DOI: 10.1109/RadarConf.2015.7411926.
20. Shi, Xiufang; Chaoqun, Yang; Weige, Xie; Chao, Liang; Zhiguo, Shi; Jiming, Chen. Anti-Drone System with Multiple Surveillance Technologies: Architecture, Implementation, and Challenges. *IEEE Communications Magazine*, 2018, Vol. 56 (4), pp. 68–74. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/profile/Xiufang\\_Shi/publication/324514116\\_Anti-Drone\\_System\\_with\\_Multiple\\_Surveillance\\_Technologies\\_Architecture\\_Implementation\\_and\\_Challenges/links/5c64f8fd92851c48a9d26369/Anti-Drone-System-with-Multiple-Surveillance-Technologies-Architecture-Implementation-and-Challenges.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Xiufang_Shi/publication/324514116_Anti-Drone_System_with_Multiple_Surveillance_Technologies_Architecture_Implementation_and_Challenges/links/5c64f8fd92851c48a9d26369/Anti-Drone-System-with-Multiple-Surveillance-Technologies-Architecture-Implementation-and-Challenges.pdf). Last accessed 10.03.2020. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700430. Доступ 10.08.2020.
21. Швецова С. В., Швецов А. В. Обеспечение безопасности при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры // *Мир транспорта*. – 2020. – Т. 18. – № 3. – С. 174–188.
22. Швецова С. В., Швецов А. В. Анализ безопасности при перевозке грузов беспилотными летательными аппаратами // *Мир транспорта*. – 2019. – Т. 17. – № 5. – С. 286–297.
23. Dantzig, G. B., Ramser, J. H. The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, Vol. 6, No. 1 (Oct. 1959), pp. 80–91.
24. Морозов А. В. Математические модели задач построения замкнутых маршрутов на транспортной сети // *Штучный интеллект*. – 2015. – № 1–2. – С. 157–169.
25. Пападимитриу Х., Стайглиц К., Алексеев В. Б. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность: Пер. с англ. / М.: Мир, 1985. – 511 с.
26. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах: Пер. с англ. / М.: Мир, 1981. – 328 с. ●