



Обеспечение безопасности при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры



Светлана ШВЕЦОВА



Алексей ШВЕЦОВ

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), также известные как дроны или беспилотники, получают всё большее практическое применение в современном обществе, в том числе как инструменты реализации концепций «умного города», «умного здравоохранения», «умной индустрии», Интернета вещей, 3D-картографии, цифрового транспорта. Но, в настоящий момент, применение БПЛА на определённых объектах, в том числе и транспортной инфраструктуры (ОТИ), в первую очередь, в аэропортах, невозможно в силу существующих ограничений, вызванных угрозами безопасности, возникающими при полёте БПЛА.

Авторами в данной работе была поставлена цель предложить решение, позволяющее начать эксплуатацию беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры, в настоящий момент закрытых для полётов БПЛА.

Для достижения цели работы, с применением анализа и синтеза, сравнения и обобщения, сформулированы факторы и условия безопасного применения БПЛА на ОТИ, с учётом которых разработаны метод повышения безопасности движения

Швецова Светлана Валерьевна – Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия.

Швецов Алексей Владиславович – Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, Владивосток, Россия; Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Россия.*

беспилотных летательных аппаратов и реализующая его система контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов.

Предложенная система делает возможным безопасно применять БПЛА на ОТИ за счёт ограничения зоны их полёта строго в обозначенном коридоре, что позволяет исключить угрозу столкновения БПЛА с другими транспортными средствами (ТС), эксплуатируемыми на ОТИ, опасными элементами ОТИ, людьми и т.д.

Для функционирования системы не требуется электроэнергия, что позволяет внедрять систему без создания вспомогательной энергообеспечивающей инфраструктуры.

Практическое применение предложенной системы и, как следствие, внедрение большего количества возможностей, возникающих при применении БПЛА, способно генерировать на объектах транспорта принципиально новые технологические процессы и структуры, что является одним из направлений создания транспортной инфраструктуры следующего поколения, основанной на IoT и искусственном интеллекте.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, БПЛА, объект транспортной инфраструктуры, безопасность, обеспечение безопасности.

*Информация об авторах:

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

Швецов Алексей Владиславович – доцент Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ВГУЭС), Владивосток, Россия, доцент Северо-Восточного федерального университета (СВФУ), Якутск, Россия, zit-otb@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 01.03.2020, принята к публикации 21.04.2020.

For the English text of the article please see p. 182.

ВВЕДЕНИЕ

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), также известные как дроны или беспилотники, получают всё большее практическое применение в современном обществе, в том числе при реализации таких приложений, как «умный город», «умное здравоохранение», «умные индустрии» [1–5]. Кроме того, «беспилотники и Интернет вещей (IoT) совместно помогают развивать безопасность, 3D-картографию, транспорт и др.» [6]. Но, в настоящий момент, «распространение возможностей, предоставляемых технологиями и методами, связанными с беспилотными летательными аппаратами, сдерживается существующими ограничениями по применению БПЛА на определённых объектах» [7], в числе которых и отдельные объекты транспортной инфраструктуры (ОТИ), в первую очередь, аэропорты.

В настоящее время применение беспилотных летательных аппаратов на отдельных объектах транспорта, в первую очередь, в аэропортах, законодательно запрещено во многих странах мира [7], включая Россию, сделано это из-за угроз безопасности, возникающих при полёте БПЛА. К таким угрозам относятся аварии и чрезвычайные ситуации (ЧС) [8], которые могут возникнуть при столкновении БПЛА с транспортными средствами, эксплуатируемыми на ОТИ, опасными грузами, находящимися на объекте, или опасными техническими элементами объекта транспортной инфраструктуры. К опасным техническим элементам можно отнести технические установки и системы, в которых применяются легковоспламеняемые и химически-опасные вещества, системы энергообеспечения, системы управления движением и т.д.

Риск столкновения БПЛА с другими транспортными средствами или элементами ОТИ может быть расценён как невысокий [7; 9; 15], однако последствия такой аварии, согласно исследованиям [10–14], могут быть достаточно серьёзными, особенно если учитывать, «что вес профессиональных дронов уже сейчас достигает десятков килограммов, при этом некоторые модели дронов работают на жидком горючем топливе» [15]. Так, топливный бак турбореактивного дрона

AB5 JetQuad [16], разработанного компанией FusionFlight (США), вмещает 19 литров дизельного топлива. AB5 JetQuad способен перевозить груз весом 18 кг, сам беспилотник весит 23 кг, в результате суммарный вес заправленного дрона AB5 JetQuad, перевозящего груз, будет достигать 60 кг.

В ближайшее время планируется начало серийного производства гражданских грузовых дронов нового поколения с грузоподъёмностью уже в сотни килограмм. В качестве примера таких летательных аппаратов можно привести грузовой БПЛА «вертолётного» типа модели «CAV», разработанный компанией Боинг [17], способный перевозить грузы массой до 227 килограммов. «CAV имеет в длину 6,1 м, в ширину 5,3 м, в высоту 1,5 м, и массу 498,9 килограмм» [17].

В современных условиях решение проблемы обеспечения безопасности полётов беспилотных летательных аппаратов невозможно без создания соответствующего методологического и технологического аппарата. При формировании теории и методов обеспечения безопасности полётов БПЛА необходимо применять комплексный подход, включающий совместное рассмотрение результатов научных исследований и потребностей практики, в целях обеспечения безопасности как эксплуатируемых беспилотных летательных аппаратов, так и объектов транспортной инфраструктуры, на которых они применяются.

Цель настоящего исследования — разработка метода повышения безопасности движения беспилотных летательных аппаратов и технического решения, его реализующего, совместно позволяющих создать необходимые условия для снятия существующих ограничений по применению БПЛА на ОТИ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для достижения поставленной цели, по мнению авторов, первоначально необходимо сформулировать факторы, влияющие на безопасность при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры, а также выработать перечень условий безопасного применения БПЛА на ОТИ.



ФАКТОРЫ И УСЛОВИЯ БЕЗОПАСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА НА ОТИ

Основные факторы, влияющие на безопасность при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры, можно разделить на четыре группы.

1. Инфраструктурные факторы:

- близость путей движения других транспортных средств. Воздушные коридоры, выделенные для движения БПЛА, не должны пересекаться в одной плоскости с путями (коридорами) движения других ТС эксплуатируемых на ОТИ;

- минимальное количество свободного пространства для маневрирования. Пространство для маневрирования БПЛА на ОТИ ограничено существующими путями движения других ТС, а также зданиями, сооружениями и коммуникациями, имеющимися на ОТИ.

2. Технологические факторы:

- на ОТИ применяется ряд типов оборудования, в технологическом процессе которого применяются радиоканалы. БПЛА – это летательный аппарат, управление которым, осуществляется дистанционно по радиоканалу. В связи с этим необходимо учитывать риск сбоя в управлении БПЛА из-за воздействия других радиосигналов;

- на ряде ОТИ применяется оборудование, генерирующее радиопомехи. При планировании путей для передвижения БПЛА необходимо учитывать, что на пути движения БПЛА не должно быть участков с таким уровнем радиопомех, при котором возможны сбои в управлении летательным аппаратом.

3. Нормативно-правовые факторы:

- владелец беспилотного летательного аппарата несёт ответственность за нанесение БПЛА ущерба третьим лицам. При выборе маршрута движения БПЛА необходимо учитывать возможный риск столкновения не только с транспортными средствами или элементами ОТИ, но и с людьми, находящимися на объекте;

- владелец беспилотного летательного аппарата обязан осуществлять установленные законом регистрационные действия и получать необходимые разрешения. Графики и режимы движения БПЛА

должны быть согласованы с контролирующими органами.

4. Факторы риска несанкционированного вмешательства и воздействий:

- существует риск дистанционного перехвата управления беспилотным летательным аппаратом. В настоящий момент не существует инструмента гарантированной защиты канала управления БПЛА от несанкционированного вмешательства и воздействий со стороны нарушителя [18]. Необходимо учитывать риск перехвата управления летательным аппаратом, в том числе и с целью применения БПЛА для совершения акта незаконного вмешательства на ОТИ [19];

- гражданские БПЛА не имеют защиты от внешнего физического воздействия. Необходимо учитывать, что БПЛА легко может быть повреждён, к примеру, небольшим предметом, брошенным в его сторону нарушителем. При планировании путей и инфраструктуры для передвижения БПЛА необходимо учитывать, что БПЛА должны быть недоступны для прямого физического воздействия со стороны нарушителя.

Обобщение факторов, влияющих на безопасность при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры, позволяет сформулировать три основополагающих условия безопасного применения БПЛА на ОТИ:

- 1) зона возможного передвижения БПЛА должна находиться в границах выделенного воздушного коридора. Данное условие обусловлено тем, что в настоящее время нет защиты от угрозы неконтролируемого изменения траектории полёта БПЛА. «Смена траектории может произойти как вследствие ошибок оператора» [13], так и умышленного несанкционированного вмешательства и воздействий со стороны нарушителя, включая дистанционный перехват управления БПЛА. Кроме того, существует угроза потери управления над БПЛА при возникновении в нём технических неисправностей, после чего БПЛА также может изменить траекторию и столкнуться с другими транспортными средствами, эксплуатируемыми на ОТИ, опасными элементами ОТИ или людьми;

2) допустимо применение БПЛА только «вертолётного» типа. Возможность применения только такого типа БПЛА обусловлена тем, что БПЛА других типов, в первую очередь «самолётного», могут передвигаться с высокой скоростью и не предназначены для маневрирования в пределах ограниченных застроенных территорий;

3) допустимо применение БПЛА только с электрическими двигателями. Требование по применению данного вида тяги обусловлено тем, что аварии с участием «жидкотопливных» БПЛА имеют риск более тяжёлых последствий из-за возможного возгорания жидкого топлива, находящегося на борту.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Проблема безопасности движения беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры непосредственно связана с устойчивостью границ выделенного (для полётов БПЛА) воздушного коридора (ВВК), при выходе из которых БПЛА может столкнуться с другими наземными/воздушными ТС, элементами ОТИ или людьми, находящимися на ОТИ.

Устойчивость границ выделенного воздушного коридора, – состояние, при котором полёт БПЛА (от точки взлёта до точки посадки) возможен только в границах ВВК.

Обеспечение такой устойчивости возможно на основе создания условий блокирования рассматриваемого объекта в выделенном для его передвижения воздушном коридоре, что позволит предотвратить аварийные ситуации, связанные с выходом объекта из границ выделенного воздушного коридора. Технически данная задача сводится к предотвращению возможности пересечения БПЛА границ ВВК.

При такой постановке задачи представляется целесообразным обеспечить постоянную связь БПЛА с несвободной точкой (НТ), расположенной в центре окружно-

сти ВВК и ограниченной в передвижении осью ВВК.

При этом полученная связь должна ограничивать расхождение рассматриваемых объектов на расстояние, превышающее длину радиуса ВВК за вычетом длины БПЛА и $\frac{1}{2}$ длины НТ, что позволит обеспечить физическое сдерживание БПЛА в границах ВВК.

Для практической реализации предложенного метода повышения безопасности движения беспилотных летательных аппаратов авторами разработана система контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов (далее – СКМ).

СКМ позволяет обеспечить безопасное применение БПЛА на ОТИ за счёт ограничения зоны передвижения БПЛА строго в выделенном воздушном коридоре. При разработке СКМ были учтены все сформулированные условия безопасного применения БПЛА на ОТИ.

ОПИСАНИЕ СКМ

Принцип работы предлагаемой системы заключается в том, что беспилотный летательный аппарат не может выйти за пределы выделенного для его передвижения воздушного коридора. Данное ограничение достигается за счёт того, что БПЛА крепится удерживающим тросом к подвижной платформе, установленной на монорельс, проложенный по заданному маршруту движения БПЛА. При этом БПЛА сохраняет возможность полёта, но зона его передвижения ограничена траекторией монорельса и длиной удерживающего троса.

Детальная конструкция разработанной системы показана на рис. 1.

СКМ состоит из следующих элементов: подвижной платформы 1, установленной на монорельс 2; удерживающего троса 3, одним концом прикреплённого к креплению 4, установленному на подвижной платформе; вторым концом трос прикреплен к аналогичному креплению, устанавливаемому на БПЛА (на рис. 1 не показано).

Крепление БПЛА к СКМ обеспечивается удерживающим тросом. Оптимальным является применение спиринного удерживающего троса, такой трос



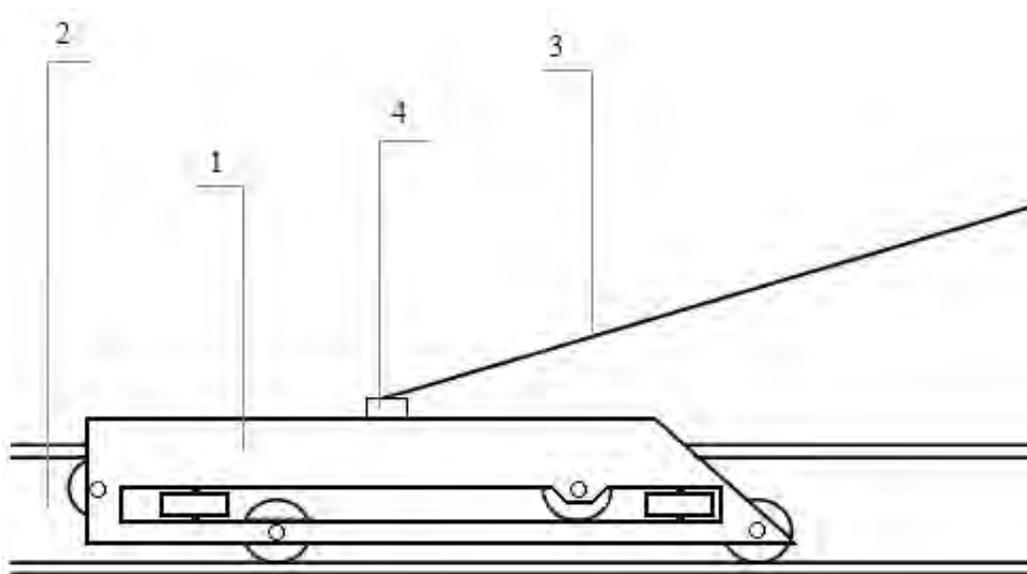


Рис. 1. Система контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов.

имеет минимальный провис, что снижает угрозу его зацепления за различные окружающие предметы во время полёта БПЛА.

Базовый элемент СКМ – подвижная платформа (элемент 1 рис. 1), спроектирована таким образом, чтобы создавать минимальный тормозящий эффект при полёте БПЛА. Достигается это за счёт двухосного расположения колёс платформы. Всего платформа имеет 12 колёс, основой которых являются роликовые подшипники.

Детальная конструкция подвижной платформы показана на рис. 2.

Подвижная платформа состоит из следующих элементов: корпуса 1, имеющего по бортам отверстия 2; восьми горизонтально расположенных осей 3, на которых установлены четыре нижних колеса 4 и четыре верхних колеса 5; четырёх вертикально расположенных осей 6, на которых установлены четыре боковых колеса 7. Материал корпуса подвижной платформы – алюминиевый сплав АД31.

Подвижная платформа устанавливается на монорельс (элемент 2 рис. 1).

Конструкция подвижной платформы позволяет ей двигаться по монорельсу как

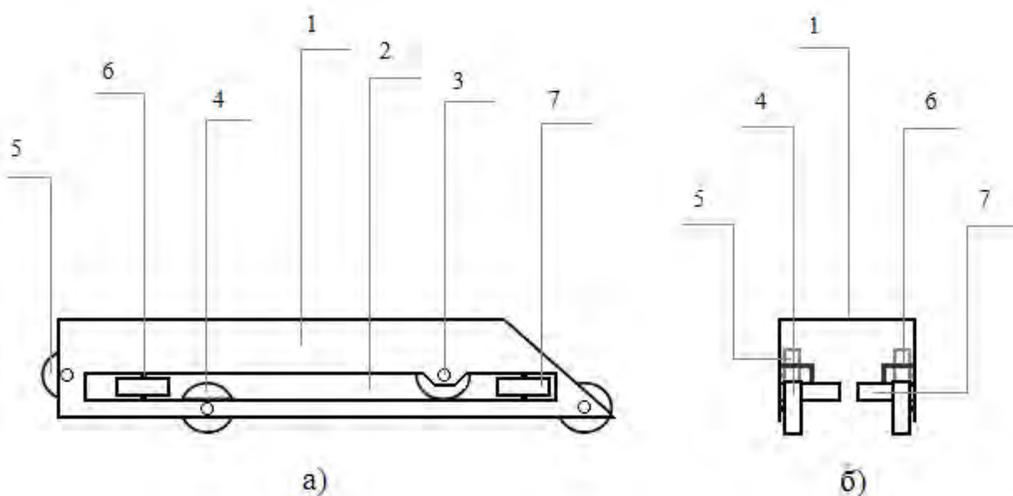


Рис. 2. Подвижная платформа: а) вид слева; б) вид спереди.

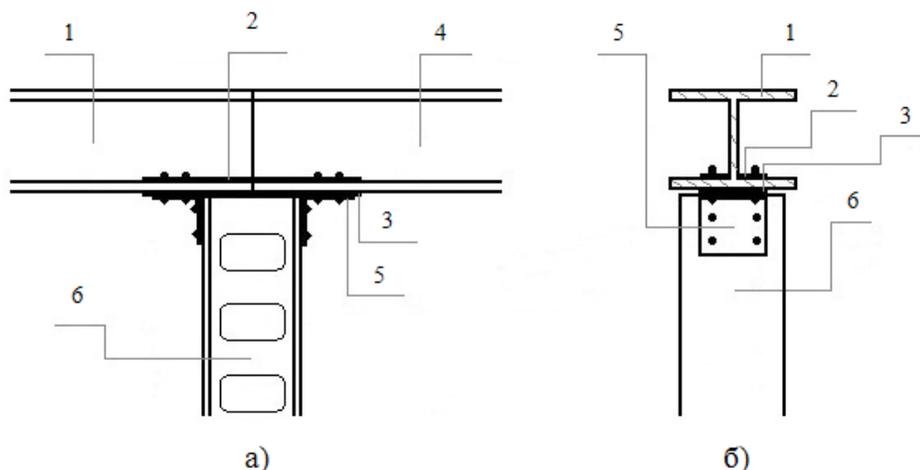


Рис. 3. Монорельс в комплекте с опорой-кронштейном: а) вид слева, б) вид спереди.

по направлению вперёд, так и по направлению назад.

Монорельс прокладывается по установленному маршруту движения БПЛА. Собирается монорельс из отдельных секций, количество которых определяется проектной длиной монорельса. Устанавливается монорельс на опорах-кронштейнах, закрепляемых, в свою очередь, на подходящих внешних объектах, например, зданиях или сооружениях, расположенных по пути прокладки монорельса, либо на специально установленных в грунт винтовых сваях.

Детальная конструкция монорельса показана на рис. 3.

Секция монорельса 1 крепится продольным верхним крепежом 2 и продольным нижним крепежом 3 к соседней секции монорельса 4 и угловым крепежом 5 к опоре-кронштейну 6. Материал монорельса – алюминиевый сплав АД31.

УСЛОВИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СКМ

На одном монорельсе одновременно может эксплуатироваться как одна подвижная платформа, так и группа платформ. К каждой подвижной платформе может прикрепляться только один БПЛА.

При эксплуатации группы подвижных платформ на одном монорельсе их движение может осуществляться только в одном выбранном направлении с безопасным интервалом между ними, это необходимо для предотвращения столкновений БПЛА.

Безопасный интервал (S_{int}) определяется по формуле:

$$S_{int} = T_{res} + B_{dis} + L_{hc} \cdot 2, \quad (1)$$

где T_{res} – дистанция, проходимая БПЛА с момента обнаружения оператором препятствия на пути движения БПЛА и до момента применения оператором экстренного торможения;

B_{dis} – тормозной путь, проходимый БПЛА при экстренном торможении;

L_{hc} – длина удерживающего троса.

Формула 1 позволяет рассчитать безопасный интервал для заданной скорости движения БПЛА, для этого в показатели T_{res} и B_{dis} подставляются их значения при рассматриваемой скорости.

ОГРАНИЧЕНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ

Система СКМ применима в приложениях, предусматривающих движение БПЛА по определённому маршруту.

Система контроля маршрутов беспилотных летательных аппаратов применима на наземных объектах транспортной инфраструктуры.

Система СКМ предназначена для работы с БПЛА «вертолётного» типа, вертикального взлёта и посадки.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ СИСТЕМЫ

Натурный эксперимент проводился путём 15 минутного полёта БПЛА, прикрепленного удерживающим тросом к подвижной платформе, установленной на



Разработки, предусматривающие применение привязных БПЛА

Разработчик	Максимальная высота полёта дрона	Время непрерывного полёта дрона
Equinox Systems [20]	150 м	30 дней
TDS [21]	120 м	неограниченно
Aria Insights [22]	120 м	неограниченно
Elistair [23]	80 м	10 часов

монорельсе. Скорость и высота полёта, расположение БПЛА относительно монорельса, а также сила натяжения троса периодически изменялись оператором. В результате эксперимента установлено, что СКМ обеспечивает ограничение зоны передвижения БПЛА в границах выделенного воздушного коридора, при этом крепление БПЛА к системе не оказывает заметного влияния на управляемость и скорость БПЛА.

НАПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОДОЛЖЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данное исследование развивается авторами в двух направлениях.

Первое направление – это разработка технологии, позволяющей оператору системы управлять БПЛА посредством проводной, а не радиосвязи. При этом в качестве проводной линии для передачи данных будет служить монорельс и далее удерживающий трос, крепящий БПЛА к подвижной платформе. Данный способ управления БПЛА позволит защитить канал управления БПЛА от сбоев, вызываемых радиопомехами, а также обеспечит защиту от дистанционного перехвата управления БПЛА нарушителем, что понизит уязвимость системы для несанкционированного вмешательства и воздействий.

Второе направление – это разработка технологии дистанционного энергообеспечения БПЛА, работающих с СКМ. При этом в качестве линии для передачи электроэнергии будет служить монорельс и далее удерживающий трос. Данный способ энергообеспечения позволит БПЛА работать практически в непрерывном режиме, а также повысит их грузоподъемность за счёт возможности применения более мощных электродвигателей. Дистанционное энергообеспечение беспилотных летательных аппаратов позволит создавать протяжённые системы маршрутно-зональ-

ного полёта БПЛА как на уровне городов, так и регионов с возможностью их последующей интеграции. Внедрение систем такого уровня позволит формировать в будущем глобальные логистические схемы доставки грузов, в которых в качестве средств доставки будут выступать грузовые БПЛА.

СРАВНЕНИЕ С РЕШЕНИЯМИ, ИЗВЕСТНЫМИ В МИРЕ

В настоящий момент в мире известен ряд разработок, предусматривающих использование привязных БПЛА (табл. 1).

Принципиальным отличием решений, описанных в табл. 1, от предлагаемой системы является то, что в них БПЛА, прикрепленный тросом к наземной стационарной базе, после взлёта и достижения заданной высоты находится в статичном состоянии и используется как платформа для размещения оборудования, например, предназначенного для передачи сигнала 3G/4/G/5G с целью обеспечения покрытия сотовой связи на территориях ЧС до восстановления повреждённых вышек сотовой связи. Маршрутный полёт БПЛА в описанных решениях невозможен. Дополнительным отличием рассматриваемых решений от предложенной системы является то, что они предназначены для дистанционного электропитания БПЛА, информация о том, проводились или нет исследования на предмет того, способны ли данные решения обеспечить сдерживание БПЛА, отсутствует, что не позволяет рассматривать данные решения как средство обеспечения безопасности полётов БПЛА.

ВЫВОДЫ

В настоящем исследовании разработан метод повышения безопасности движения беспилотных летательных аппаратов и реализующая его система контроля маршрутов

беспилотных летательных аппаратов. Внедрение системы решает задачу обеспечения безопасности при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на объектах транспортной инфраструктуры, что, в свою очередь, позволяет снять существующие ограничения по применению БПЛА на ОТИ в части беспилотных летательных аппаратов, применяемых совместно с предложенной системой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alsamhi, S. H., Ma, O., Ansari, M. S., Gupta, S. K. Collaboration of Drone and Internet of Public Safety Things in Smart Cities: An Overview of QoS and Network Performance Optimization. *Drones*, 2019, Vol. 3, No. 1, p. 13. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones3010013>.

2. Amukele, T. K., Hernandez, J., Snozek, C. L. H., Wyatt, R. G., Douglas, M., Amini, R., Street, J. Drone Transport of Chemistry and Hematology Samples Over Long Distances. *American Journal of Clinical Pathology*, 2019, Vol. 148 (5), pp. 427–435. DOI: 10.1093/ajcp/aqx090.

3. Faramondi, L., Oliva, G., Ardito, L., Crescenzi, A., Caricato, M., Tesei, M., Muda, A., Setola, R. Use of Drone to Improve Healthcare Efficiency and Sustainability. *MIPRO 2019, 42nd International Convention, Opatjia, Croatia, 20–24 May, 2019. SSRCI – Smart, Sustainable and Resilient Cities and Infrastructures*. [Электронный ресурс]: https://www.researchgate.net/profile/Gabriele_Oliva/publication/334521353_Use_of_Drone_to_Improve_Healthcare_Efficiency_and_Sustainability/links/5d2f4e4d92851cf4408cc008/Use-of-Drone-to-Improve-Healthcare-Efficiency-and-Sustainability.pdf. Доступ 21.01.2020.

4. Lievin, B. A., Bugaev, A. S., Ivashov, S. I., Razevig, V. V. Distantly piloted aircrafts and the track security. *World of Transport and Transportation*, 2013, Vol. 11, No. 2, pp. 152–157. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/view/354/610>. Доступ 21.01.2020.

5. Innovative applications of drones for ensuring safety in transport. *Horizon 2020 Website*. [Электронный ресурс]: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/mg-2-8-2019>. Доступ 21.01.2020.

6. Goodchild, A., Toy, J. Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO₂ emissions in the delivery service industry. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2017, Vol. 61, pp. 58–67. DOI: 10.1016/j.trd.2017.02.017.

7. Huttunen, M. T. 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 17.02.2020.

8. Unmanned Aircraft Systems Advisory Group (UAS-AG). Официальный 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.

9. Dourado, E., Hammond, S. Do Consumer Drones Endanger the National Airspace? Evidence from Wildlife Strike Data. *Mercatus Center, George Mason University, Arlington and Fairfax, Virginia*, March 2016. [Электрон-

ный ресурс]: <https://www.mercatus.org/system/files/Dourado-Wildlife-Strikes-MOP-v2.pdf>. Доступ 17.02.2020.

10. Small remotely piloted aircraft systems (drones): Mid-air collision study. Report by QinetiQ, Natural Impacts commissioned by the Department for Transport, the Military Aviation Authority and British Airline Pilots' Association, 2016. [Электронный ресурс]: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/628092/small-remotely-piloted-aircraft-systems-drones-mid-air-collision-study.pdf. Доступ 01.02.2020.

11. Schroeder, K., Song, Y., Horton, B., Bayandor, J. Investigation of UAS ingestion into high-bypass engines. Part II: Drone parametric study. *58th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, 2017. DOI: 10.2514/6.2017-0187.

12. Song, Y., Horton, B., Bayandor, J. Investigation of UAS Ingestion into High-Bypass Engines. Part I: Bird vs. Drone. *58th AIAA/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference*, 2017. DOI: 10.2514/6.2017-0186.

13. Wild, G., Murray, J., Baxter, G. Exploring civil drone accidents and incidents to help prevent potential air disasters. *Aerospace*, 2016, Vol. 3, Iss. 3, pp. 22–32. [Электронный ресурс]: https://miningquiz.com/pdf/Drone_Safety/Aerospace-Drons_UAV_txt.pdf. Доступ 01.02.2020.

14. 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. DOI: 10.1145/3001836.

15. Shvetsova, S. V., Shvetsov, A. V. Safety analysis for the transport of goods by unmanned aerial vehicles. *World of Transport and Transportation*, 2019, Vol. 17, Iss. 5, pp. 286–297. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2019-17-5-286-297>.

16. Coxworth, B. Jet-powered VTOL drone is like a quadcopter on steroids. *New Atlas*. [Электронный ресурс]: <https://newatlas.com/drones/ab5-jetquad-jet-powered-drone/>. Доступ 15.02.2020.

17. Watch: Cargo Air Vehicle Completes First Outdoor Flight. [Электронный ресурс]: <http://www.boeing.com/features/2019/05/cav-first-flight-05-19.page>. Доступ 15.02.2020.

18. Sciancalepore, S., Ibrahim, O. A., Oligeri, G., Di Pietro, R. Detecting Drones via Encrypted Traffic Analysis, *Proceedings of the ACM Workshop on Wireless Security and Machine Learning*, Miami FL, USA, 15–17 May 2019. [Электронный ресурс]: https://cri-lab.net/wp-content/uploads/2019/05/Sciancalepore_WiseML2019_website.pdf. Доступ 27.02.2020. DOI: 10.1145/3324921.3328791.

19. Shvetsova, S. V., Shvetsov, A. V., Balalaev, A. S. Prevention of Acts of Unlawful Interference at Infrastructure Facilities. *World of Transport and Transportation*, 2018, Vol. 16, Iss. 6, pp. 178–182. [Электронный ресурс]: <https://mirtr.elpub.ru/jour/article/download/1561/1837>. Доступ 27.02.2020.

20. Equinox Innovative Systems. «DELTA 3C: Tri-Sector Cell Tower», 2017. [Электронный ресурс]: <https://t2m.io/UaF8ZYbq>. Доступ 15.02.2020.

21. Tethered Drone Systems. «Tethered Drone Systems: The Future of Tethered UAV Technology», 2019. [Электронный ресурс]: <https://t2m.io/eMsFWd5P>. Доступ 15.02.2020.

22. Aria Insights. «PARC: The Future of High-powered Commercial Drones». [Электронный ресурс]: <https://t2m.io/bufh6WRy>. Доступ 15.02.2020.

23. Elistair. «Orion: Persistent UAV for Surveillance and Communications», 2014. [Электронный ресурс]: <https://t2m.io/5LeDMh9S>. Доступ 17.02.2020. ●

