

## Управление маршрутом беспилотного летательного аппарата

**А.В. ШВЕЦОВ**,  
канд. техн. наук  
(ВГУЭС, Владивосток;  
СВФУ, Якутск),  
**С.В. ШВЕЦОВА**  
(ДВГУПС, Хабаровск)  
transport-safety@mail.ru

*Предложен метод управления маршрутом беспилотного летательного аппарата и реализующий его технический комплекс. Целью разработки является обеспечение безопасности движения беспилотных летательных аппаратов вертолетного типа, эксплуатируемых по заданным маршрутам на определенном объекте.*

**Беспилотный летательный аппарат, метод, управление маршрутом**

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) все чаще находят применение в различных приложениях [1–3], в том числе основанных на Интернете вещей и искусственном интеллекте. Однако расширение сферы применения БПЛА в настоящее время сдерживается законодательными запретами [4], введенными из-за угроз безопасности, возникающих при полете БПЛА над территорией целого ряда объектов (аэропорты, опасные производственные объекты и т.д.) [5]. В частности, в странах Евросоюза для ограничения полетов БПЛА над закрытыми территориями применяется геоограничение, включающее разделение территории на геозоны, часть из которых закрыта для полетов БПЛА (рис. 1) [6].

В настоящее время реализуется ряд программ, направленных на обеспечение безопасности движения БПЛА:

- программа «U-Space» (под эгидой Европейской комиссии);
- программа «NASA Unmanned Aircraft System Traffic Management» (под эгидой NASA и Федерального авиационного управления США);
- программа «European Aviation Safety Agency Drone Categories» (под эгидой Европейского агентства по авиационной безопасности (EASA)).

Безопасность движения БПЛА в соответствии с данными программами должна обеспечиваться за счет выделения отдельных воздушных коридоров (секторов), при движении по которым БПЛА не будут опасно сближаться с другими транспортными средствами (воздушными и наземными), зданиями или людьми (рис. 2) [6].



Рис. 1



Рис. 2

При этом необходимо отметить, что в реализуемых программах не предлагается решений, обеспечивающих защиту от угрозы неконтролируемой смены траектории движения БПЛА, которая может произойти как вследствие ошибок оператора, управляющего БПЛА, так и внешнего несанкционированного вмешательства и воздействий, в том числе и дистанционного перехвата управления БПЛА [7, 8]. Также необходимо учитывать, что всегда существует угроза потери управления БПЛА при возникновении в нем технических неисправностей [9–12].

Проблема безопасности полетов БПЛА непосредственно связана с устойчивостью движения БПЛА по заданному маршруту, в границах выделенного воздушного коридора, при выходе из которых БПЛА может столкнуться с другими транспортными средствами (воздушными и наземными), строениями или людьми.

Для решения данной задачи разработан метод управления маршрутом БПЛА. По заданному маршруту движения БПЛА прокладывают монорельс, на который устанавливают подвижную наземную платформу, имеющую возможность свободного качения по монорельсу. К подвижной наземной платформе удерживающим тросом крепится БПЛА, при полете БПЛА натягивает удерживающий трос, вследствие чего подвижная наземная платформа движется по монорельсу вслед за БПЛА. В таком состоянии БПЛА может осуществлять движение только по заданному маршруту, вдоль монорельса, движение БПЛА в другие стороны блокируется удерживающим тросом (рис. 3). Таким образом, решена задача управления маршрутом БПЛА, а также задача повышения безопасности движения БПЛА.

Предлагаемый метод реализуется разработанным комплексом, состав которого представлен на рис. 4. Подвижная наземная платформа 1 установлена на монорельс 2. Удерживающий трос 3 одним концом прикреплен к подвижной наземной платформе, вторым концом удерживает трос, который крепится к БПЛА.

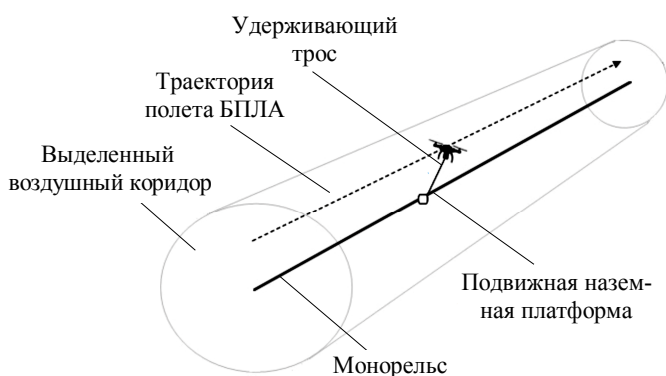


Рис. 3

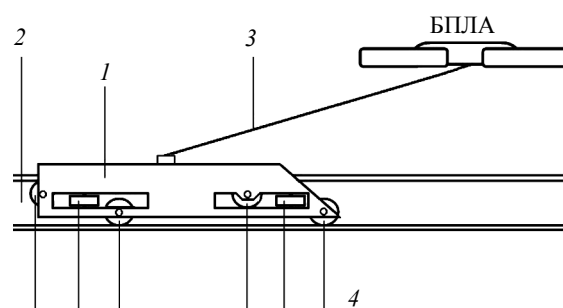


Рис. 4

Подвижная наземная платформа оснащена двенадцатью колесами 4, расположенными по осям  $X$  и  $Y$ . Такая конструкция обеспечивает свободное качение подвижной платформы по монорельсу при натяжении удерживающего троса под любым углом, что позволяет избежать «подклинивания» в процессе движения.

Монорельс состоит из отдельных секций, представляющих собой двухметровые секции Н-образного профиля из алюминиевого сплава АД31. Высота профиля монорельса зависит от массы БПЛА. Так, при массе БПЛА 10–25 кг достаточная высота профиля составит 50 мм.

Монорельс устанавливается в воздушном пространстве на дополнительных монтажных металлоконструкциях (кронштейнах), прикрепляемых к специально установленным в грунт винтовым сваям либо к зданиям или сооружениям, расположенным по маршруту движения БПЛА.

На одном монорельсе одновременно может осуществляться движение нескольких платформ при условии их однонаправленного движения.

Разработанный комплекс управления маршрутом БПЛА имеет следующие ограничения в применении:

- комплекс используется в приложениях, предусматривающих движение БПЛА по определенному маршруту;
- комплекс применим на наземных объектах;
- комплекс предназначен для работы с БПЛА «вертолетного» типа (мультикоптерами).

Экспериментальная проверка разработанного комплекса проводилась в непрерывном полете (35 мин) БПЛА, закрепленного удерживающим тросом к подвижной наземной платформе, установленной на монорельс. Скорость и высота полета БПЛА, расположение относительно подвижной платформы, а также сила натяжения удерживающего троса периодически изменялись в течение всего полета. В результате было установлено, что комплекс обеспечивает контроль маршрута БПЛА, при этом зона полета БПЛА ограничивается протяженностью монорельса, а также длиной удерживающего троса, что позволяет обеспечить безопасность движения рассматриваемого объекта.

Таким образом, разработан метод управления маршрутом БПЛА и реализующий его комплекс. Метод позволяет организовать безопасное движение БПЛА на определенном объекте по выделенному маршруту. Применение предложенного метода позволяет начать применение БПЛА на объектах, в настоя-

щий момент закрытых для полетов БПЛА, в том числе аэропортах, опасных производственных объектах и т.д. Предложенный метод также может быть применен при проектировании внутригородских систем доставки грузов с применением БПЛА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волощенко В.Ю. Гидроаэродром: технологии комплексной навигации беспилотных гидросамолетов на акватории летного бассейна // Изв. вузов. Авиационная техника. 2018. № 1. С. 97–105.
2. Goebel K., Saha B. Prognostics Applied to Electric Propulsion UAV // Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Dordrecht: Springer, 2015. P. 1053–1070.
3. Волощенко В.Ю., Волощенко А.П., Волощенко Е.В. Гидроаэродром: гидроакустические средства обеспечения взлетно-посадочных и навигационных действий для беспилотных гидросамолетов // Изв. вузов. Авиационная техника. 2020. № 1. С. 141–148.
4. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 of 24 May 2019 on the Rules and Procedures for the Operation of Unmanned Aircraft [Electronical Resource]. URL: [http://data.europa.eu/eli/reg\\_impl/2019/947/2020-06-06](http://data.europa.eu/eli/reg_impl/2019/947/2020-06-06) (дата обращения: 15.07.2020).
5. La Cour-Harbo A. The Value of Step-by-Step Risk Assessment for Unmanned Aircraft // Proc. of the International Conference on Unmanned Aircraft Systems, June 12–15, 2018, Dallas, USA. Article № 18062276. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8453411> (дата обращения: 15.07.2020).
6. UAS ATM Integration [Electronical Resource]. URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/publication/files/uas-atm-integration-operational-concept-v1.0-release%2020181128.pdf>. (дата обращения: 15.07.2020).
7. Ersin A. et al. Real-Time Risk Assessment Framework for Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM) // Proc. of the 17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, June 5–9, 2017, Denver, USA. AIAA 2017-3273.
8. Bertrand S. et al. Ground Risk Assessment for Long-Range Inspection Missions of Railways by UAVs // Proc. of the 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems, June 13–16, 2017, Miami, USA. P. 1343–1351.
9. Lum C. et al. Assessing and Estimating Risk of Operating Unmanned Aerial Systems in Populated Areas // Proc. of the 11th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, Sept. 20–22, 2011, Virginia Beach. AIAA 2011-6918.
10. Melnyk R. et al. A Third-Party Casualty Risk Model for Unmanned Aircraft System Operations // Reliability Engineering & System Safety. 2014. Vol. 124. P. 105–116.
11. Burke D.A., Hall C.E., Cook S.P. System-Level Airworthiness Tool // Journal of Aircraft. 2011. Vol. 48. Iss. 3. P. 777–785.
12. Clothier R. et al. A Casualty Risk Analysis for Unmanned Aerial System (UAS) Operations over Inhabited Areas [Electronical Resource]. URL: <https://eprints.qut.edu.au/6822/1/6822.pdf> (дата обращения: 1.08.2020).

Поступила в редакцию 3.08.20  
После доработки 1.09.20  
Принята к публикации 26.02.21

## A Method for Managing the Route of an Unmanned Aerial Vehicle

A.V. SHVETSOV<sup>1,2</sup> AND S.V. SHVETSOVA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Vladivostok State University of Economics and Service, Vladivostok

<sup>2</sup> North-Eastern Federal University, Yakutsk

<sup>3</sup> Far Eastern State Transport University, Khabarovsk

*This paper describes a special method for managing the route of an unmanned aerial vehicle and a complex for implementing it. The idea behind the methodology being proposed is to ensure the safe movement of helicopter-type unmanned aerial vehicles intended for use on preset routes at a specific facility.*

**Unmanned aerial vehicle, method, route management**