

УДК 004

DOI: 10.28995/2686-679X-2024-1-8-20

К вопросу разработки графических интерфейсов для управления БЛА

Александра С. Доброквашина
*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, Россия, dobrokvashina@it.kfu.ru*

Аннотация. В настоящее время сфера беспилотных летательных аппаратов быстро растет и развивается. Беспилотные системы активно интегрируются в повседневную жизнь. Однако с ростом количества БЛА значительно расширился объем программного обеспечения, появилось множество графических интерфейсов для управления. Сегодня известны различные решения для управления летательными аппаратами: как с помощью мобильных телефонов и устройств, так и с помощью персональных компьютеров и систем управления. Управление может осуществляться как для одного БЛА, так и для их групп и роев, а в некоторых случаях и для гетерогенных групп роботов, где БЛА могут применяться в связках с наземными, наводными или подводными роботами. В последнем случае комплексность графического интерфейса может вырастать в разы. На сегодняшний день нет четких способов классификации и упорядочивания графических интерфейсов для управления БЛА и их группами. В данной работе проводится аналитический обзор существующих графических интерфейсов, а ее целью является создание четкой классификации для возможности их распределения. Это позволит в дальнейшем предложить прототип универсального графического интерфейса для управления беспилотными летательными аппаратами и их группами, а также разработать методики для создания и тестирования ряда интерфейсов.

Ключевые слова: БЛА, графический интерфейс, БАС, обзор

Для цитирования: Доброквашина А.С. К вопросу разработки графических интерфейсов для управления БЛА // Вестник РГГУ. Серия «Информатика. Информационная безопасность. Математика». 2024. № 1. С. 8–20. DOI: 10.28995/2686-679X-2024-1-8-20

© Доброквашина А.С., 2024

Development and testing of the graphical user interfaces for UAV

Aleksandra S. Dobrokvashina
Kazan Federal University, Kazan, Russia,
dobrokvashina@it.kfu.ru

Abstract. Currently, the field of unmanned aerial vehicles is growing and developing rapidly. Unmanned systems are being actively integrated into everyday life. However, with the increase in the number of UAVs, the volume of software has expanded significantly, and many graphical interfaces for control have appeared. Today, various solutions are known for controlling aircraft: both using mobile phones and devices, and using personal computers and control systems. Control can be carried out both for one UAV and for their groups and swarms, and in some cases for heterogeneous groups of robots, where UAVs can be used in conjunction with ground, surface or underwater robots. In the latter case, the complexity of the graphical interface can increase significantly. To date, there are no clear ways to classify and organize graphical interfaces for controlling UAVs and their groups. This work provides an analytical review of existing graphical interfaces, and its goal is to create a clear classification to enable their distribution. That will make it possible in the future to propose a prototype of a universal graphical interface for controlling unmanned aerial vehicles and their groups, as well as to develop methods for creating and testing a number of interfaces.

Keywords: UAV, graphical user interface, RPAS, review

For citations: Dobrokvashina, A.S. (2024), "Development and testing of the graphical user interfaces for UAV", *RSUH/RGGU Bulletin. "RSUH/RGGU Bulletin. "Information Science. Information Security. Mathematics" Series*, no. 1, pp. 8–20, DOI: 10.28995/2686-679X-2024-1-8-20

Введение

Беспилотные авиационные системы (БАС) активно набирают популярность [Новик, Кудряшов 2023] и все чаще применяются как в сельском хозяйстве [Айдаров, Горшенина, Боженко 2023], так и в спасательных операциях [Мостаков, Голобурдин, Анисимов, Бакаев, Кулагин 2022]. Растущий интерес к беспилотным летательным аппаратам (БЛА) влечет за собой увеличение не только количества производителей и разновидностей беспилотников, но и множасьее программное обеспечение (ПО) для них. Среди распространенного ПО: алгоритмы, создаваемые для автоматизации

процессов различного уровня сложности, а также системы управления [Чмелев, Калюка, Дмитренко 2022]. Графические интерфейсы являются одним из распространенных способов управления не только в сфере БАС [Dubelschikov, Tsoy, Bai, Svinin, Magid 2022], но и в робототехнической отрасли в целом [Магид, Лавренов, Маврин 2019; Mustafin, Chebotareva, Li, Magid 2023]. Они активно применяются для управления как отдельными дронами [Slingsby, Scott, Kregting, McIlvenny 2023], так и их группами [Terzi, Anastasiou, Kolios 2019]. В некоторых случаях система управления и графический интерфейс имеют соединение не только с одним и несколькими дронами, но и с роботами других типов [Shirakura, Kiyokawa, Takamatsu, Ogasawara 2021]. В таком случае можно говорить о комплексных системах управления для гетерогенных групп роботов. Стоит отметить, что несмотря на активно растущее количество графических интерфейсов, на сегодня не выявлено ни одного способа их классификации.

Данная работа содержит аналитический обзор существующих решений в вопросе управления БЛА с помощью графических интерфейсов. Также предлагается система классификации для самих графических интерфейсов. За основание для представленной классификации были использованы существующие классификации беспилотных летательных аппаратов и систем для их управления. В итоге классификация графических интерфейсов производится по нескольким типам, таким как уровень автономности систем, тип и количество управляемых аппаратов и т. д.

Благодаря полученным результатам возможна дальнейшая разработка унифицированного графического интерфейса для управления БЛА и их группами, а также создание и написание методик тестирования различных графических интерфейсов для управления.

Классификация интерфейсов

Классификация, предложенная для графических интерфейсов, базируется на классификации самих БЛА [Кузнецов, Горбоконенко 2023]. Тип и направленность работы БЛА, а также поставленная задача влияют на данные, необходимые оператору в процессе отслеживания или управления БЛА. По этой причине сложно использовать одну стандартную классификацию для всех интерфейсов. В этой работе предлагается определять тип графического интерфейса, базируясь на нескольких представленных ниже классификациях:

- тип БЛА;
- автономность;
- количество;
- управление;
- направленность.

Диаграмма классификаций графических интерфейсов представлена на рис. 1.



Рис.1. Диаграмма классификаций для графических интерфейсов

Классификация по типу БЛА

Для графических интерфейсов низкоуровневого управления (например управление отдельными моторами) стоит учитывать не только сторонние факторы, такие как задачи и цели вылета, но и конструкцию самого БЛА. Тип БЛА – первая классификация, которая будет рассмотрена. Классификация идет по двум основным группам:

- самолетные;
- винтокрылые.

Винтокрылые, в свою очередь, подразделяются на вертолетные – с одним винтом, и на мультироторные – в том числе quadro- и мультикоптеры [Хрунь, Хакимов 2021]. Различие в типах винтокрылых дронов заключается в количестве моторов и винтов, от чего напрямую зависит мощность и грузоподъемность аппарата. Различия конструкций самолетных и винтокрылых БЛА приводят к появлению специфических особенностей. Например, возможность удерживаться в одном положении в воздухе, необходимость взлетно-посадочной полосы, а также время автономной работы

и качества соединения между аппаратом и оператором. Все эти элементы влияют и на графический интерфейс, отражаясь на функционале и на алгоритме взаимодействия.

Классификация по уровню автономности

Следующая классификация зависит от степени автоматизации процессов и выполнения поставленных задач [Новик, Кудряшов 2023]. Чаще всего выделяют три уровня автономности систем:

- неавтономные;
- автономные;
- комбинированные.

При работе с неавтономными системами оператор управляет БЛА с помощью ручного управления. Примером неавтономной системы управления являются FPV-дроны, используемые в том числе в гонках [Пругер, Хмелик 2019]. Такой подход требует постоянного контроля со стороны оператора, интерфейсы стараются сохранять информативность при минимальной загруженности экрана. В полностью автономных системах оператор играет роль наблюдателя. Зачастую при работе с такими системами активное взаимодействие с интерфейсом происходит только при запуске системы. На этом этапе возможны проверка систем и корректировки параметров. После запуска оператор переходит в роль наблюдателя. На этом этапе возможно отслеживать процесс выполнения задачи, в некоторых случаях остановить его или скорректировать. Интерфейс при этом может иметь достаточно большое количество окон, содержащих информацию о ходе выполнения алгоритма, и небольшое количество интерактивных элементов, позволяющих взаимодействовать с БЛА. Последним пунктом в этой классификации выступают комбинированные системы управления, которые на сегодняшний день встречаются как среди любительских, так и среди профессиональных беспилотных систем. Как и в случае с неавтономными, оператор принимает активную роль в управлении БЛА, однако в таких системах подразумевается наличие частично автоматизированных процессов (например, автоматические взлет и посадка, следование за целью и т. д.). Интерфейс в таком случае может содержать большее количество различных окон и интерактивных элементов, позволяющих не только вручную управлять БЛА, но и контролировать работу автоматических алгоритмов.

Классификация по количеству

Следующая классификация связана с количеством и типами управляемых аппаратов:

- один БЛА;
- групповое взаимодействие:
 - гомогенные;
 - гетерогенные.

Классический случай – управление одним БЛА. Особенности можно найти в графических интерфейсах для управления группами роботов. Группы могут состоять из однотипных роботов (например, только БЛА) или различных (связки БЛА-БНА (беспилотные наземные аппараты), БЛА-БПА (беспилотные подводные аппараты) и т. д.). Если группа гомогенная, то на систему и графический интерфейс в том числе может влиять формат взаимодействия внутри. Это может быть рой, где в группе все дроны автономны, но выполняют одну задачу, либо группа с ведущим, где оператор управляет только ведущим, а остальная группа движется вслед за ведущим.

Классификация по способу управления

Важным фактором при разработке графического интерфейса является устройство, на котором он будет запущен. В случае БЛА варианты управляющего устройства следующие:

- VR (FPV – First Person View);
- мобильное устройство;
- программное обеспечение для ПК;
- специализированные комплексы и системы управления.

Формат управления FPV набирает популярность среди операторов. При таком формате управления чаще всего используются VR-шлемы. Интерфейсы в них избегают интерактивных элементов, а экраны предоставляют максимум полезной информации с минимальной загрузкой экрана. Мобильные устройства, такие как дистанционные пульты, планшеты или смартфоны, в отличие от VR, дают больше свободы в отношении интерактивности. В них представлены различные выпадающие списки и дополнительные окна настроек, так как экраны этих устройств не могут вместить достаточно необходимой информации (например, приложение DJI GO). Следующим этапом идет программное обеспечение для ПК. При разработке ПО для персональных компьютеров пропадают

ограничения по производительности и количеству активных окон, что позволяет создавать комплексные архитектуры и решения. Специализированные комплексы и системы управления достаточно дорогостоящие проекты, поэтому чаще всего они находят свое применение в различных отраслевых решениях.

Классификация по направлению деятельности

Последняя классификация, которая будет рассмотрена в этой работе, базируется на сфере применения управляемого дрона, а именно:

- классическое управление;
- специализированные.

Классическое управление подразумевает собой стандартный подход к контролю БЛА. В качестве примера можно взять любой графический интерфейс, который идет в комплекте с дроном. В большинстве случаев это минимальный набор данных: картинка с камер, данные о заряде батареи, скорости и ориентации. Специализированные интерфейсы обычно идут в паре с доработанными дронами, оборудованными дополнительными сенсорами или креплениями, а интерфейс позволяет в большей мере взаимодействовать с имеющимися надстройками.

Примеры графических интерфейсов

При обзоре было рассмотрено множество различных систем управления как для одиночных БЛА [Peng, Turkmen, Eickhoff, Finta 2019; Slingsby, Scott, Kregting, McIlvenny 2023], так и для групп [Shirakura, Kiyokawa, Takamatsu, Ogasawara 2021; Terzi, Anastasiou, Kolios 2019]. Далее будут рассмотрены и классифицированы несколько графических интерфейсов для управления БЛА. На рис. 2 можно увидеть несколько вариаций графического интерфейса, используемого для управления FPV дроном [Kocer, Stedman, Kulik, Caves, Van Zalk, Pawar, Kovac 2022]. В интерфейсе отсутствуют интерактивные элементы, однако четко освещены основные аспекты состояния аппарата, а именно: информация о заряде батареи, скорости, местоположении и ориентации в пространстве. Графический интерфейс такого плана можно классифицировать как классический неавтономный VR интерфейс для управления одним БЛА мультироторного типа.

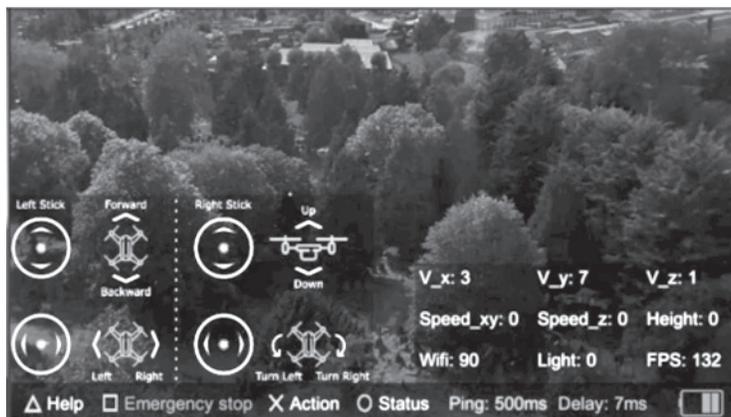


Рис. 2. Пример графического интерфейса FPV дрона [Kocer, Stedman, Kulik, Caves, Van Zalk, Pawar, Kovac 2022]



Рис. 3. Графический интерфейс системы управления для ПК [Lavrenov, Safin, Bai, Martinez-Gazrcia, Meshcheryakov 2022]

Рисунок 3 представляет собой пример универсального графического интерфейса для управления БЛА с использованием робототехнической операционной системы (ROS) [Lavrenov, Safin, Bai, Martinez-Gazrcia, Meshcheryakov 2022]. Интерфейс содержит стандартный набор элементов контроля полета: информация о

местоположении и ориентации дрона в пространстве, экран с видеопотоком, получаемым с камеры, и возможность запуска алгоритмов автономного полета и посадки. Присутствует также всплывающее окно настроек для оптимизации работы с БЛА. Данный интерфейс можно классифицировать как классический комбинированный интерфейс для ПК для управления одним БЛА мультироторного типа.

На рисунке 4 изображена система управления для модульного БЛА MQ-9 Reaper самолетного типа [Замятин 2020]. В отличие от предыдущих примеров данная СУ представлена крупным комплексом. Помимо стандартного набора элементов интерфейса, отображающих видео с камер и данные о местоположении и ориентации, здесь представлена расширенная информация о состоянии самого аппарата, а также имеется возможность более тонкой настройки систем БЛА и его алгоритмов. Классифицируя данный интерфейс, можно охарактеризовать его как специализированный профильный интерфейс системы управления для управления одним БЛА самолетного типа.



Рис. 4. Система управления MQ-9 Reaper [Замятин 2020]

Рассмотренные графические интерфейсы имеют несколько схожих черт, которые можно выделить как одни из часто встречаемых: данные с бортовой камеры, информация о заряде батареи, а также данные об ориентации дрона в пространстве (крен, тангаж и рыскание). Все эти элементы могут стать базовыми при дальнейшей разработке унифицированного графического интерфейса для БЛА.

Заключение

Активное развитие беспилотных авиационных систем (БАС) приводит к увеличению количества и разнообразия ПО для дронов. Среди прочего растёт количество графических интерфейсов и систем управления как для одиночных и роев БЛА, так и гетерогенных групп роботов. Однако даже при таком активном росте отсутствует четкая система классификации для этих графических интерфейсов. В данной работе, базируясь на имеющихся классификациях БЛА и их направленности, был предложен новый способ классификации. Также были рассмотрены и классифицированы несколько примеров таких интерфейсов. Благодаря этому появилась возможность выделить общие элементы управления, что в дальнейшем позволит создать унифицированный графический интерфейс для управления БЛА и их группами. Полученные результаты могут стать основанием для создания методик тестирования графических интерфейсов для управления БЛА и их группами.

Литература

- Айдаров, Горшенина, Боженко 2023 – *Айдаров А.В., Горшенина Е.Ю., Боженко В.О.* Разработка обучающего тренажера для работы с агроориентированными беспилотными летательными аппаратами // Проблемы и перспективы развития АПК: технические и сельскохозяйственные науки: Материалы Региональной научно-технической конференции, посвященной 110-летию Вавиловского университета. Саратов, 2023. С. 144–150.
- Замятин 2020 – *Замятин П.А.* Системы управления беспилотными летательными аппаратами // Инновационная наука. 2020. № 4. С. 37–42.
- Кузнецов, Горбоконеко 2023 – *Кузнецов Д.Ю., Горбоконеко В.Д.* Классификация беспилотных летательных аппаратов по летным характеристикам // Вузовская наука в современных условиях: Сборник материалов 57-й научно-технической конференции. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2023. С. 87–89.
- Магид, Лавренов, Маврин 2019 – *Магид Е.А., Лавренов Р.О., Маврин И.А.* Программное обеспечение с графическим интерфейсом для управления гусеничным роботом Сервосила Инженер. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Номер свидетельства: RU 2019615855, 2019.
- Мостаков, Голобурдин, Анисимов, Бакаев, Кулагин 2022 – *Мостаков Н.А., Голобурдин Н.В., Анисимов Р.О., Бакаев В.С., Кулагин К.А.* Система спасения утопающих с помощью беспилотного летательного аппарата // Конференция по компьютерной графике и зрению «Графикон». 2022. Т. 32. С. 1115–1122.

- Новик, Кудряшов 2023 – *Новик А.В., Кудряшов А.С.* Беспилотные летательные аппараты, перспективы развития, классификация и способы борьбы с ними // Научные чтения имени профессора Н.Е. Жуковского: Сборник научных статей XIII Международной научно-практической конференции. Краснодар, 2023. С. 420–425.
- Пругер, Хмелик 2019 – *Пругер И.Н., Хмелик О.Г.* Исследование применения квадрокоптеров для игровой индустрии // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов XV Международной научно-практической конференции. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2019. С. 117–119.
- Хрунь, Хакимов 2021 – *Хрунь В.Н., Хакимов Н.Т.* Обзор существующих типов беспилотных летательных аппаратов // Научные исследования: проблемы и перспективы: Сборник научных трудов по материалам XXXV Международной научно-практической конференции. Анапа, 2021. С. 147–151.
- Чмелев, Калюка, Дмитренко 2022 – *Чмелев В.С., Калюка В.И., Дмитренко М.Е.* Обзор систем управления беспилотных летательных аппаратов общего пользования // Технологии. Инновации. Связь: Сборник материалов научно-практической конференции. СПб.: Военная академия связи, 2022. С. 279–286.
- Dubelschikov, Tsoy, Bai, Svinin, Magid 2022 – *Dubelschikov A., Tsoy T., Bai Y., Svinin M., Magid E.* Intelligent System Concept of an IoT Cameras Network Application for an Unmanned Aerial Vehicle Control via a Graphical User Interface // 2022 International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT). New York, NY: IEEE, 2022. P. 1–4.
- Kocer, Stedman, Kulik, Caves, Van Zalk, Pawar, Kovac 2022 – *Kocer B.B., Stedman H., Kulik P., Caves I., Van Zalk N., Pawar V.M., Kovac M.* Immersive View and Interface Design for Teleoperated Aerial Manipulation // 2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). New York, NY: IEEE, 2022. P. 4919–4926.
- Mustafin, Chebotareva, Li, Magid 2023 – *Mustafin M., Chebotareva E., Li H., Magid E.* Experimental Validation of an Interface for a Human-Robot Interaction Within a Collaborative Task // International Conference on Interactive Collaborative Robotics. Cham: Springer, 2023. P. 23–35.
- Lavrenov, Safin, Bai, Martínez-Gazrcia, Meshcheryakov 2022 – *Lavrenov R., Safin R., Bai Y., Martínez-García E.A., Meshcheryakov R.* Graphical User Interface Design for a UAV Teleoperation // Proceedings of International Conference on Artificial Life and Robotics. Kazan, 2022. P. 678–681.
- Peng, Turkmen, Eickhoff, Finta 2019 – *Peng A.S., Turkmen A., Eickhoff B., Finta M., Gerads P.* Design of a Ground Sampling Distance Graphical User Interface for an Unmanned Aerial Vehicle System // 53rd Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS). New York, NY: IEEE, 2019. P. 1–6.
- Shirakura, Kiyokawa, Takamatsu, Ogasawara 2021 – *Shirakura N., Kiyokawa T., Kumamoto H., Takamatsu J., Ogasawara T.* Collection of marine debris by jointly using uav-uuv with gui for simple operation // IEEE Access. 2021. Vol. 9. P. 67432–67443.

- Slingsby, Scott, Kregting, McIlvenny 2023 – *Slingsby J., Scott B.E, Kregting L, McIlvenny J., Wilson J., Yanez M., Williamson B.J.* The bigger picture: developing a low-cost graphical user interface to process drone imagery of tidal stream environments // *International Marine Energy Journal*. 2023. Vol. 6 (1). P. 11–17.
- Terzi, Anastasiou, Kolios 2019 – *Terzi M., Anastasiou A., Kolios P., Panayiotou C., Theocharides T.* SWIFTERS: A multi-UAV platform for disaster management // 2019 International conference on information and communication technologies for disaster management (ICT-DM). New York, NY: IEEE, 2019. P. 1–7.

References

- Aidarov, A.V., Gorshenina, E.Yu. and Bozhenko, V.O. (2023), “Development of a training simulator for working with agro-oriented unmanned aerial vehicles”, *Issues and Prospects of agro-industrial complex development. Technical and Agricultural Sciences. Proceedings of the Regional Scientific and Technical Conference Commemorating the 110th Anniversary of Vavilov University*, Saratov, Russia, pp. 144–150.
- Chmelev, V.S., Kalyuka, V.I. and Dmitrenko, M.E. (2022), “Overview of the control systems of public unmanned aerial vehicles”, *Technologies. Innovation. Communication. Proceedings of the Scientific and Practical. Conf.*, Military Telecommunication Academy, Saint Petersburg, Russia, pp. 279–286.
- Dubelschikov, A., Tsoy, T., Bai, Y., Svinin, M. and Magid, E. (2022), “Intelligent system concept of an IoT cameras network application for an unmanned aerial vehicle control via a graphical user interface”, *2022 International Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT)*, IEEE, New York, NY, USA, pp. 1–4.
- Khrun, V.N. and Khakimov, N.T. (2021), “Overview of existing types of unmanned aerial vehicles”, *Scientific Research. Issues and Prospects. Collection of scientific papers on the proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference*, Anapa, Russia, pp. 147–151.
- Kocer, B.B., Stedman, H., Kulik, P., Caves, I., Van Zalk, N., Pawar, V.M. and Kovac, M. (2022), “Immersive view and interface design for teleoperated aerial manipulation”, *2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, IEEE, New York, NY, USA, pp. 4919–4926.
- Kuznetsov, D.Y. and Gorbokonenko, V.D. (2023), “Classification of unmanned aerial vehicles by flight characteristics”, *University Science in Current Environment. Sat. Art. by the Proceedings of the 57th Scientific and Practical. Conf.*, Ul’yanovsk State Technical University, Ul’yanovsk, Russia, pp. 87–89.
- Lavrenov, R., Safin, R., Bai, Y., Martínez-García, E.A. and Meshcheryakov, R. (2022), “Graphical user interface design for a UAV teleoperation”, *Proceedings of International Conference on Artificial Life and Robotics*, Kazan, Russia, pp. 678–681.
- Magid, E.A., Lavrenov, R.O. and Mavrin, I.A. (2019), Software with graphical interface for controlling crawler robot Servosila Engineer. Certificate of the state registration of the computer program. Certificate number: RU 2019615855.

- Mostakov, N.A., Goloburdin, N.V., Anisimov, R.O., Bakaev, V.S. and Kulagin, K.A. (2022), “A drowning rescue system using an unmanned aerial vehicle”, *Graphicon – Conferences on Computer Graphics and Vision*, vol. 32, pp. 1115–1122.
- Mustafin, M., Chebotareva, E., Li, H. and Magid, E. (2023), “Experimental validation of an interface for a human-robot interaction within a collaborative task”, *International Conference on Interactive Collaborative Robotics*, Springer, Cham, Switzerland, pp. 23–35.
- Novik, A.V. and Kudryashov, A.S. (2023), “Unmanned aerial vehicles, development prospects and ways to combat them”, *Scientific Conference in honor of Professor N.E. Zhukovsky. Sat. Art. by the Proceedings of the 13th Scientific and Practical. Conf.*, Krasnodar, Russia, pp. 420–425.
- Peng, A.S., Turkmen, A., Eickhoff, B., Finta, M. and Gerads, P. (2019), “Design of a ground sampling distance graphical user interface for an unmanned aerial vehicle system”, *53rd Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS)*, IEEE, New York, NY, USA, pp. 1–6.
- Pruger, I.N. and Khmelik, O.G. (2019), “Research on the use of quadcopters for the gaming industry”, *Electronic Means and Control Systems. Proceedings of XV International Scientific and Practical Conference*, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia, pp. 117–119.
- Shirakura, N., Kiyokawa, T., Kumamoto, H., Takamatsu, J. and Ogasawara, T. (2021), “Collection of marine debris by jointly using uav-uuv with GUI for simple operation”, *IEEE Access*, vol. 9, pp. 67432–67443.
- Slingsby, J., Scott, B.E., Kregting, L., McIlvenny, J., Wilson, J., Yanez, M. and Williamson, B.J. (2023), “The bigger picture: developing a low-cost graphical user interface to process drone imagery of tidal stream environments”, *International Marine Energy Journal*, vol. 6 (1), pp. 11–17.
- Terzi, M., Anastasiou, A., Kolios, P., Panayiotou, C. and Theocharides, T. (2019), “SWIFTERS: A multi-UAV platform for disaster management”, *2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*, IEEE, New York, NY, USA, pp. 1–7.
- Zamyatin, P.A. (2020), “Control systems for unmanned aerial vehicles”, *Innovative Science*, vol. 4, pp. 37–42.

Информация об авторе

Александра С. Доброквашина, аспирант, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия; 420008, Россия, Казань, Кремлевская ул., д. 35; dobrokvashina@it.kfu.ru

Information about the author

Aleksandra S. Dobrokvashina, postgraduate student, Kazan Federal University, Kazan, Russia; 35, Kremlevskaya Str., Kazan, 420008, Russia; dobrokvashina@it.kfu.ru