

УДК 004.896

## **Анализ подвижных роботизированных платформ для обслуживания аккумуляторов беспилотных летательных аппаратов**

**Нго К.Т.<sup>1\*</sup>, Соленая О.Я.<sup>1\*\*</sup>, Ронжин А.Л.<sup>2\*\*\*</sup>**

<sup>1</sup> *Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 67, 190000, Россия*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук, Санкт-Петербург, 14 линия, 39, 199178, Россия*

\*e-mail: [quoctienbn@gmail.com](mailto:quoctienbn@gmail.com)

\*\*e-mail: [osolenaya@list.ru](mailto:osolenaya@list.ru)

\*\*\*e-mail: [ronzhin@ias.spb.su](mailto:ronzhin@ias.spb.su)

### **Аннотация**

Рассматривается проблема увеличения времени работы беспилотных летательных аппаратов в автономных миссиях. Проанализированы подходы заряда или замены бортовых аккумуляторов на сопровождающей роботизированной платформе. Имеющиеся прототипы сервисных роботизированных платформ отличаются сложностью внутренних механизмов, скоростью обслуживания, алгоритмами совместной работы платформы и летательного аппарата при посадке и обслуживании аккумулятора. Целью данного исследования является разработка многофункционального механизма соединения мультикоптера с наземной роботизированной платформой, осуществляющей функции их транспортировки и технического обслуживания. По результатам проведенного анализа составлена

классификация существующих систем, установленных на роботизированных платформах, для обслуживания аккумуляторов.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, БЛА, мультикоптеры, аккумуляторы, беспроводная зарядка, подвижная платформа, коллаборативные роботы

## **Введение**

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БЛА) и в частности, мультикоптеры (МК) являются предметом исследования многих научных сообществ, военных и гражданских компаний [1-4]. Благодаря их универсальности и возможности программирования алгоритмов их функционирования широкий спектр задач может быть выполнен с помощью мультикоптеров, например: поиск объектов, осмотр зданий, наблюдение и т.д. Одним из главных открытых проблем остается необходимость увеличения длительности автономной работы [4-6]. Для легких мультикоптеров, использующих Li-Po аккумуляторы, среднее время полета как правило ограничивается 10-25 минутами. Увеличить время работы мультикоптера возможно путем поиска более совершенного источника питания или разработки системы оперативной подзарядки аккумулятора. Для последнего варианта были предложены два типа систем: активные и пассивные. Активные системы обеспечивают короткое время задержки работы мультикоптера, но требуют сложных электромеханических механизмов, чтобы заменить разряженный

аккумулятор на новый. Пассивные системы несколько проще, но на время зарядки аккумулятора МК уходит примерно от 10 минут до 1 часа, что увеличивает задержку выполнения основной миссии МК. Для обслуживания аккумуляторов БЛА сейчас исследуются варианты применения сервисных роботизированных платформ, при посадке на которые БЛА осуществляет зарядку или смену своего аккумулятора для продолжения выполнения автономной полетной миссии [8, 9].

Целью данного исследования является разработка многофункционального механизма соединения МК с наземной роботизированной платформой, осуществляющей функции их транспортировки и технического обслуживания [10, 11]. На текущий момент сформированы три основные задачи, которые должны быть технически реализованы на подвижной платформе с учетом ее конструктивных особенностей, в том числе: 1) зарядка МК с возможной реализацией трех вариантов передачи энергии с использованием системы энергопитания, оснащенной на платформе (контактное соединение аккумулятора МК с системой питания платформы; замена аккумулятора МК; беспроводная зарядка аккумулятора МК); 2) контактное взаимодействие платформы с набором МК, включая механизм стыковки МК и платформы, предусматривающий безопасное перемещение МК на борту платформы, посадку и взлет МК; 3) связь подвижной платформы с МК и базовой станцией. Далее проанализируем существующие решения для перечисленных трех задач.

## **Обзор существующих прототипов совместного функционирования сервисных станций и БЛА**

Автономная посадка БЛА в современных исследованиях рассматривается не только на фиксированную площадку, но и на мобильную платформу, осуществляющую движение в различных средах. Посадка БЛА на сервисную подзарядную станцию реализуется с помощью различных систем навигации и анализа окружающей территории. В работе [12] предлагается система технического зрения, способная обнаруживать БЛА и сопровождать его до посадки на платформе. Распознавание шаблонных моделей БЛА позволит оценить его положение и ориентацию при приближении к посадочной площадке. Предложенная система работает в режиме реального времени на бортовых вычислительных ресурсах в помещении и на улице без поддержки систем глобальной навигации.

В работе [13] рассмотрен новый децентрализованный метод управления совместного функционирования БЛА и подвижной платформы. Представленные экспериментальные результаты для небольшого квадрокоптера Aeryon Scout и подвижная платформа Clearpath Robotics A200 Husky подтверждают возможность посадки как в закрытых помещениях с высококачественными навигационными данными и на открытом воздухе в ветреных условиях.

В работе [14] предлагается система слежения за подвижной платформой и контроля посадки БЛА на нее. В системе используется алгоритм обнаружения и локализации посадочной площадки на основе технического зрения и всенаправленной камеры с высоким качеством изображения. Анализ видеопотока

позволяет оценить положение и скорость подвижной платформы относительно БЛА. Система посадки была проверена на квадрокоптере, который успешно приземлился на подвижной платформе во время летных испытаний на открытом воздухе.

В работе [15] рассмотрен алгоритм автономной посадки БЛА на палубу корабля. При проведении экспериментов использовалась подвижная посадочная площадка с шестью степенями свободы с целью имитации динамики различных кораблей и состояний моря. Разработанная система технического зрения использует фильтр Калмана для обеспечения надежности оценок, определения положения БЛА относительно платформы, имеющей специальные графические метки.

В работе [16] проведен анализ потребляемой энергии встроенных модулей подвижной платформы, оснащенной двухосевой поворотной площадкой для посадки БЛА. Для достижения более длительного времени работы сервисной платформы рекомендуется использовать более эффективные датчики, а не увеличивать размеры встроенных аккумуляторных батарей. Кроме того, на платформе установлены солнечные батареи, увеличивающие продолжительность ее работы и обслуживания БЛА.

Для повышения автономности беспилотного летательного аппарата требуется, в том числе подзарядка его источника энергии и пополнение других расходных материалов на основе автоматизированных систем перезарядки. В работе [17] разработаны два типа автоматических систем перезарядки МК на наземной платформе с зарядкой аккумулятора и с заменой на новый. Системы с заменой аккумулятора может значительно сократить время подготовки МК для нового полета и увеличить общее число МК, находящихся одновременно в автономной

миссии. Система подзарядки имеет более низкую стоимость по сравнению с системой замены аккумулятора за счет минимизации механических узлов конструкции.

В работе [17] предлагается три типа станций заряда аккумуляторов БЛА: Rollin' Mat, Concentric circles, Honeycomb, они отличаются стоимостью, возможностями и функциями. Станции питания типа Rollin' Mat и Concentric circles имеют простой дизайн, легко встраиваются и имеют относительно небольшую стоимость. Однако, размещение и размер клемм на станции зависят от типа летательного аппарата, что естественно, влияет и на размер посадочной площадки на станции. В частности, если БЛА довольно мал, то точность приземления, обеспечиваемая навигационными системами, может оказаться недостаточной для стыковки с заряжающими площадками. Станция питания типа Honeycomb имеет много преимуществ, система является легко расширяемой: большое количество БЛА можно заряжать одновременно путем добавления дополнительных элементов и зарядных устройств. Еще одна особенность заключается в том, что беспроводной ИК-излучатель/датчик системы связи может быть легко заменен другой беспроводной системой. Honeycomb может быть использован практически в любой ситуации, когда необходима подзарядка. Но это решение более дорогое, поэтому платформа Honeycomb рекомендуется в случае, где требуются точные посадки на небольшой площадке в сложных погодных условиях.

Также в работе [17] предложена система замены аккумулятора БЛА. Использование системы значительно увеличивает коэффициент максимального времени полета и сокращает время пребывания и число БЛА, находящихся на

платформе. С другой стороны, стоимость реализации системы возрастает, поскольку замена пустого аккумулятора сложнее, чем зарядка БЛА. Для функционирования системы замены аккумулятора БЛА требуется реализация следующих функций, определение положения БЛА, механизация процесса замены аккумулятора, зарядка аккумулятора, работа магазина аккумуляторов, транспортировка аккумуляторов внутри станции.

В работе [16] представлены варианты проектирования функциональных компонентов замены аккумуляторов на сервисной станции. Разработанная система замены аккумуляторов БЛА предназначена для автоматической замены разряженных аккумуляторов БЛА на новые без вмешательства человека. Представлены основные задачи этой системы: 1) направление БЛА на станцию замены аккумуляторов; 2) навигация БЛА до станции; 3) фиксация БЛА на станции; 4) подключение к БЛА: снятие и размещение аккумуляторов; 5) транспортировка аккумуляторов; 6) подзарядка аккумуляторов.

Как правило, наземные сервисные станции находятся на открытом воздухе, где погодные условия не могут быть предсказаны и приземление БЛА выполняется с некоторой погрешностью. В работе [18] рассматривается подход, позволяющий БЛА добраться на место замены аккумуляторов, даже если его место посадки не получается идеальным из-за ошибок навигации, погодных условий, повреждения БЛА и других факторов. Механизм, с помощью которого аккумулятор надежно закреплен и физически подключен к БЛА также имеет большое значение, поскольку он влияет на сложность и время манипуляций с аккумулятором. Кроме того, его дополнительный вес будет влиять размер полезной нагрузки БЛА и время полета.

Для того чтобы создать интерфейс между БЛА и платформой, рассмотрены механические и магнитные муфты, которые могут легко держать и отпускать аккумулятор, одновременно обеспечивая терминальное соединение с БЛА.

При функционировании сервисной станции в работе [18] используется несколько модулей для замены аккумуляторов с высокой точностью: 1) модуль фиксации и ориентации аккумулятора; 2) модуль блокировки/разблокировки БЛА; 3) модуль извлечения батареи; 4) модуль замены аккумуляторной батареи. Станция может компенсировать ошибки ориентации и позиционирования БЛА при посадке. Предложенная конструкция наземной станции также может обрабатывать разнородные БЛА не только с различными формами и размерами, но и с различным количеством аккумуляторов.

Для восстановления аккумуляторов МК остается на платформе до полной их зарядки, поэтому время, которое МК проводит на платформе не меньше, чем время зарядки аккумуляторов. В системе замены аккумуляторов это время меньше, так как осуществляется только механические манипуляции по смене источника питания [18].

По результатам проведенного анализа составлена классификация существующих систем, установленных на роботизированных платформах, для обслуживания аккумуляторов БЛА (рис. 1).



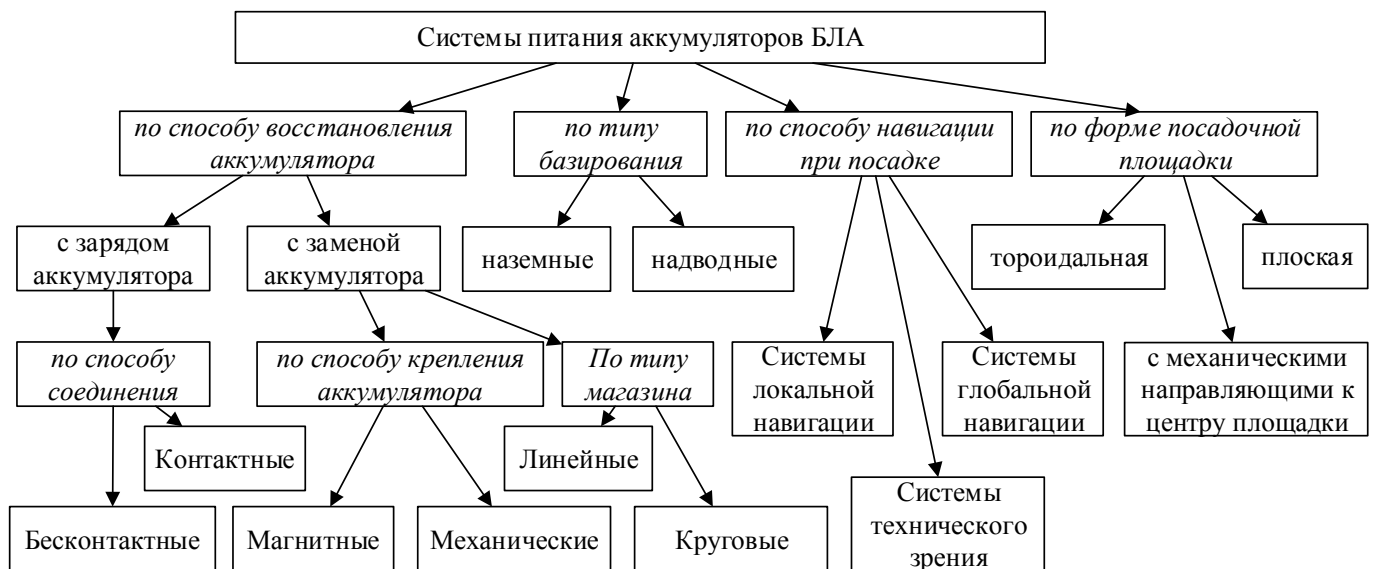


Рис. 1. Классификация роботизированных систем сервисного обслуживания питания аккумуляторов БЛА

Имеющиеся прототипы отличаются сложностью внутренних механизмов, скоростью обслуживания БЛА, алгоритмами совместной работы платформы и БЛА при посадке и обслуживании аккумулятора.

### Заключение

Использование наземной или надводной роботизированной платформы для подзарядки аккумуляторов БЛА является одним из перспективных способов продления полета БЛА в автономной миссии. Ключевыми проблемами здесь остаются вопросы автономной посадки БЛА на платформу и способ обслуживания аккумулятора: замена или зарядка. Современные средства навигации и технического зрения обеспечивают посадку БЛА на наземную роботизированную платформу может быть выполнена с высокой точностью в закрытых помещениях. На открытом

воздухе с учетом влияния погодных условий погрешность посадки существенно выше. Для связи подвижной платформы с БЛА в основном используются беспроводные средства, обеспечивающие их согласованную работу при посадке и взлете, а также управлении несколькими БЛА в очереди на зарядку.

Проанализированные варианты обслуживания аккумуляторов БЛА с использованием системы энергопитания, оснащенной на роботизированной платформе, отличаются экономичностью и сложностью, временем зарядки. Использование системы с заменой аккумулятора сокращает время подготовки БЛА для нового полета, что позволяет увеличить общее число БЛА, находящихся одновременно в автономной миссии. Но такой подход имеет более сложную техническую реализацию и стоимость.

Дальнейшее исследование будет посвящено разработке требований к конструкции системы обслуживания мультикоптеров на проектируемой наземной платформе с учетом ее функционального назначения, а также созданию программно-аппаратных средств совместного функционирования мультикоптеров и платформы.

*Работа выполнена при поддержке бюджетной темы № 0073-2015-0003.*

### **Библиографический список**

1. Барбасов В.К., Гречищев А.В. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор // Инженерные изыскания. 2014. № 8. С. 27-31.

2. Князь В.А., Вишняков Б.В., Визильтер Ю.В., Горбацевич В.С., Выголов О.В. Технологии интеллектуальной обработки информации для задач навигации и управления беспилотными летательными аппаратами // Труды СПИИРАН. 2016. Вып. 45. С. 26-44.
3. Новак К.В., Олешко В.С., Старикова И.О., Тофоров М.С. Анализ комплексов с беспилотными летательными аппаратами, применяемых силами специальных операций Соединенных Штатов Америки // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=80936>
4. Макаренко С.И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. 2016. №2. С. 73-132.
5. Богушевская В.А., Заяц О.В., Масляков Я.Н., Мацак И.С., Никонов А.А., Савельев В.В., Шептунов А.А. Разработка системы дистанционного энергоснабжения беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2012. №51. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29047>
6. Павлова Н.В., Смеюха А.В. Повышение эффективности выполнения полетного задания современными маневренными летательными аппаратами // Труды МАИ. 2016. №87. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=69703>
7. Kurdi M.M. Коммуникационная сеть для гибрида мобильного робота и квадрокоптера // Системный анализ и прикладная информатика. 2017. № 1. С. 69 - 75.
8. Jeong Y., Kweon I.S. Relative Pose Estimation for an Integrated UGV-UAV Robot System. ICIRA 2013, Part I, LNAI 8102, pp. 625–636.

9. Muskardin T., Balmer G., Persson L., Wlach S., Laiacker M., Ollero A., Kondak K. A Novel Landing System to Increase Payload Capacity and Operational Availability of High Altitude Long Endurance UAVs // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2017.
10. Nguyen V., Vu Q., Solenaya O., Ronzhin A. Analysis of main tasks of precision farming solved with the use of robotic means // 12th International Scientific-Technical Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings" – 2017, MATEC Web of Conferences, 2017, vol. 113, 02009.
11. Ву Д.К., Нгуен В.В., Соленая О.Я., Ронжин А.Л. Обзор задач точного земледелия и аграрных роботизированных средств // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2017. № 3 (77). С. 13-19.
12. Cocchioni F., Frontoni E., Ippoliti G., Longhi S., Mancini A., Zingaretti P. Visual Based Landing for an Unmanned Quadrotor // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2016, vol. 84, pp. 511–528.
13. Daly J.M., Ma Y., Waslander S.L. Coordinated landing of a quadrotor on a skid-steered ground vehicle in the presence of time delays // *Autonomous Robots*, 2015, vol. 38, pp. 179–191.
14. Kim J.W., Jung Y.D., Lee D.S., Shim D. H. Landing Control on a Mobile Platform for Multi-copters using an Omnidirectional Image Sensor // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2016, vol. 84, pp. 529–541.
15. Sanchez-Lopez J.L., Pestana J., Saripalli S., Campoy P. An Approach Toward Visual Autonomous Ship Board Landing of a VTOL UAV // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2014, vol. 74, pp. 113–127.

16. Ioannou S., Dalamagkidis K., Valavanis K.P., Stefanakos E.K. Improving Endurance and Range of a UGV with Gimballed Landing Platform for Launching Small Unmanned Helicopters // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2008, vol. 53, pp. 399–416.
17. Kemper P.F., Suzuki K.A.O., Morrison J.R. UAV Consumable Replenishment: Design Concepts for Automated Service Stations // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2011, vol. 61, pp. 369–397.
18. Suzuki K.A.O., Filho P.K., Morrison J.R. Automatic Battery Replacement System for UAVs: Analysis and Design // *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2012, vol. 65, pp. 563–586.