

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СТРАНЫ

УДК 004.896

АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ АККУМУЛЯТОРОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

О. Я. Солёная, К. Т. Нго, А. Л. Ронжин

Рассмотрены существующие примеры прототипов наземных роботизированных платформ, использующихся в качестве посадочной площадки беспилотных летательных аппаратов, которая в отдельных случаях оснащается механизмом обслуживания модуля электропитания. Проанализированы основные требования, предъявляемые к роботизированным системам обслуживания аккумуляторов мультикоптеров в зависимости от условий эксплуатации, необходимой скорости обработки, опыта операторов и других параметров. Ключевыми вопросами остаются вопросы автономной посадки летательного аппарата на платформу и способ обслуживания аккумулятора. Имеющиеся прототипы сервисных роботизированных платформ отличаются сложностью внутренних механизмов, скоростью обслуживания, алгоритмами совместной работы платформы и летательного аппарата при посадке и обслуживании аккумулятора. Представлена классификация роботизированных систем сервисного обслуживания питания аккумуляторов мультикоптеров с использованием следующих критериев: тип базирования, способ навигации при посадке, форма посадочной площадки, способ восстановления модуля электропитания. Описана предложенная алгоритмическая модель работы системы сервисного обслуживания питания аккумуляторов мультикоптеров на наземной роботизированной платформе при решении целевой аграрной задачи. Учитывая, что наиболее перспективным методом восстановления аккумулятора считаются беспроводные способы, в дальнейшей работе будет выполнена разработка и прототипирование беспроводной зарядной станции для аккумуляторов мультикоптеров.

Ключевые слова: роботизированные системы обслуживания, коллаборативные роботы, беспилотные летательные аккумуляторы, беспроводные системы заряда.

Введение

Автоматизация процесса восстановления энергоресурсов мультикоптера на наземной обслуживающей платформе, находящейся в районе решения целевых задач, позволит увеличить длительность функционирования мультикоптеров и объём решаемых задач в автономной миссии. Увеличение автономности функционирования мультикоптеров (МК) в зоне решения целевой задачи за счёт подзарядки его источника энергии на основе автоматизированных систем перезарядки является предметом исследований ряда научных коллективов. В основном разрабатываются два типа автоматических систем перезарядки МК на наземной платформе – с зарядкой аккумулятора и с его заменой на новый. Системы с заменой аккумулятора могут значительно сократить время подготовки МК для нового полёта и увеличить общее число МК, находящихся одновременно в автономной миссии. Система подзарядки имеет более низкую стоимость по сравнению с системой замены аккумулятора за счёт минимизации механических узлов конструкции.

В первую очередь разработка заряжающих роботизированных наземных станций актуальна для решения задач мониторинга удалённых территорий, при которых большая часть энергоресурсов тратится на полёт к заданной области. В этом случае мультикоптеры имеют возможность пополнять свои энергоресурсы на

территории функционирования и работать в непрерывном режиме до окончания ресурсов платформы. Во-вторых, разрабатываемая в проекте система заряда аккумуляторов мультикоптеров решает задачу автоматизации самого процесса обслуживания аккумуляторов и может применяться на стационарных площадках. В рамках данного исследования ведётся разработка моделей и прототипов системы заряда аккумуляторов мультикоптеров, отличающейся беспроводным способом передачи энергии, механизацией процесса манипуляций с аккумулятором на мультикоптере и сервисной платформе.

Наземные роботизированные системы и беспилотные летательные аппараты, в том числе мультикоптеры, сейчас активно используются в различных отраслях как для решения прикладных специализированных задач, так и в сфере индустрии развлечений. Учитывая широкий спектр подготовки операторов и функциональных возможностей МК, следует выделить три наиболее востребованные области применения МК: 1. Сфера развлечений; 2. Фермерство; 3. Безопасность [1 – 3]. В табл. 1 приведены основные требования, предъявляемые сервисным системам обслуживания систем энергоснабжения МК для трёх вышеуказанных категорий [4]. Сельскохозяйственные МК следят за перемещением крупного рогатого скота, проверяют целостность ограждений, контролируют качество почвы и посевов, распыляют

Таблица 1

Требования различных типов МК к системе обслуживания аккумуляторов в трёх предметных областях [4]

Безопасность	Фермерство	Развлечения
Зарядка аккумуляторов МК в автоматическом режиме		
Обеспечение безопасности МК в процессе зарядки		
Геометрия платформы, обеспечивающая высокую вероятность успешной посадки МК		
Форма / цвет зарядной платформы, легко отличаемые от окружающего фона для оператора или навигационной системы		
Ошибочная посадка на зарядную платформу не приводит к большему вреду, чем при посадке на обычную площадку		
Части зарядной платформы, потенциально опасные для человека, недоступны пользователям		
Простая установка системы зарядной платформы		
Уведомление о завершении процесса для оператора и / или системы навигации		
Поддержка регулярного использования зарядной платформы (устойчивое приземление МК, стыковка, монтаж / демонтаж самой платформы)		
Лёгкая установка и настройка платформы, выполняемая одним оператором		
Зарядная платформа может работать без физического подключения к электросетям или основной базе		Периодически платформа может использовать ресурсы единой энергосистемы
Обеспечение работы платформы в неидеальных погодных условиях (небольшой дождь, снег, ветер)		Попадание влаги не должно приводить к поломке платформы, но в основном предусмотрено применение в сухих условиях
Обслуживание МК различных размеров	Обслуживание МК одного размера	
Одновременное обслуживание нескольких МК на платформе	Зарядка только одного МК на платформе	

сельскохозяйственные удобрения. Использование МК в развлекательных, образовательных и исследовательских целях осуществляется при пилотной подготовке, моделировании одиночного и группового поведения, в том числе в сложных погодных условиях.

Разные приложения также накладывают свои ограничения на дизайн, функциональные характеристики системы обслуживания питания МК, способности персонала, осуществляющего установку и настройку (табл. 2).

Таблица 2

Проектные ограничения

Изменения в конструкции МК должны проходить с минимальным увеличением веса, чтобы предотвратить сокращение продолжительности полёта
Системы отключения батареи должны гарантировать, что МК не будет отключён непреднамеренно или раньше момента подключения к зарядной станции
Размеры и физические характеристики МК
Чувствительность батареи к значениям напряжения / тока заряда
Бортовые электронные средства МК должны быть отключены от аккумулятора во время подзарядки
Пилотные навыки/алгоритмы автопилотирования
Сила / умение оператора, осуществляющего сборку и настройку платформы

При разработке автоматических систем обслуживания аккумуляторов МК также следует учесть следующие функциональные и технические требования:

- обеспечение идентифицируемого пространства для посадки на зарядной платформе: 1) наличие достаточной площади для посадки (более, чем в 1,5 раза больше погрешности навигационной системы) пропорционально допустимому количеству и размеру проекции обслуживаемых МК; 2) наличие визуальной посадочной метки достаточного размера и сложности для распознавания системой навигации МК; 3) наличие коммуникационной системы для передачи текущего положения МК в навигационную систему.

- обеспечение зарядки батареи: 1) обеспечение безопасного электрического интерфейса между батареей на МК, электроникой МК, зарядным устройством на платформе и системой обнаружения МК; 2) идентификация факта приземления МК в правильном положении; 3) обеспечение заряда батареи; 4) контроль расхода электроэнергии и состояния внутренних источников питания.

- обеспечение питания зарядной платформы: 1) пополнение энергосистемы платформы; 2) преобразование энергии для использования при зарядке МК.

- обеспечение мобильности платформы: 1) лёгкая настройка при разворачивании системы на новом месте; 2) возможность транспортировки.

Перечисленные выше функциональные и технические требования будут учтены при разработке наземной роботизированной платформы, оснащённой посадочными площадками и многофункциональными механизмами захвата беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и обслуживания их встроенных энергосистем, с учётом разработанных ранее технологических решений [5 – 7].

Электромеханические системы обслуживания аккумуляторов беспилотных летательных аппаратов

Автономная посадка беспилотных летательных аппаратов 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 [8] 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 [9] 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, так и на открытом воздухе в ветреных условиях.

В работе [10] предлагается система слежения за подвижной платформой и контроля посадки БЛА на неё. 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 лёгких испытаний на открытом воздухе.

В работе [11] 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 надёжности оценок определения положения БЛА относительно платформы, имеющей специальные графические метки.

В работе [12] проведён анализ потребляемой энергии встроенных модулей подвижной платфор-

мы, оснащённой 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 её работы и обслуживания БЛА.

Для повышения автономности беспилотного летательного аппарата требуется подзарядка его источника энергии и пополнение других расходных материалов на основе автоматизированных систем перезарядки. В работе [13] разработаны два типа автоматических систем перезарядки МК – на наземной платформе с зарядкой аккумулятора и с заменой на новый. Система с заменой аккумулятора может значительно сократить время подготовки МК для нового полёта и увеличить общее число МК, находящихся одновременно в автономной миссии. Система подзарядки имеет более низкую стоимость по сравнению с системой замены аккумулятора за счёт минимизации механических узлов конструкции.

В работе [13] предлагается три типа станций зарядки аккумуляторов БЛА: Rollin' Mat, Concentric circles, Honeycomb. Они отличаются стоимостью, возможностями и функциями. Станции питания типа Rollin' Mat и Concentric circles наделены простым дизайном, 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, так как большое количество БЛА можно заряжать одновременно путём добавления дополнительных элементов и зарядных устройств. Ещё одна особенность заключается в том, что беспроводной ИК-излучатель/датчик системы связи может быть легко заменён 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, когда требуются точные посадки на небольшой площадке в сложных погодных условиях.

Также в работе [13] предложена система замены аккумулятора БЛА, использование которой значительно увеличивает коэффициент максимального времени полёта, сокращает время пребывания и чис-

ло 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 [12] 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: направление БЛА на станцию замены аккумуляторов; навигация БЛА до станции; фиксация БЛА на станции; подключение к БЛА: снятие и размещение аккумуляторов; транспортировка аккумуляторов; 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 [14] 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 надёжно закреплён и физически подключён к БЛА, также имеет большое значение, поскольку он влияет на сложность и время манипуляций с аккумулятором. Кроме того, на его дополнительный вес будет влиять размер полезной нагрузки БЛА и время полёта. 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 [14] используется несколько модулей для замены аккумуляторов с высокой точностью: модуль фиксации и ориентации аккумулятора; модуль блокировки / разблокировки БЛА; модуль извлечения батареи; 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 остаётся 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 осуществляются только механические манипуляции по смене источника питания [14].

С учётом проанализированных работ, на рис. 1 представлена классификация роботизированных систем сервисного обслуживания питания аккумуляторов МК. Проанализированные системы можно разделить по следующим признакам: по типу базирования: наземные и надводные; по способу навигации при посадке: системы локальной навигации, системы технического зрения и системы глобальной навигации; по форме посадочной площадки: плоская, тороидальная, система с механическими направляющими к центру площадки, плоская; по способу восстановления аккумулятора: системы с зарядом аккумулятора, системы с заменой аккумулятора; по способу соединения: бесконтактные, контактные; по способу крепления аккумулятора: магнитные, механические; по типу магазина: линейные, дисковые; по способу навигации при посадке: системы локальной навигации, системы технического зрения, системы глобальной навигации; по форме посадочной площадки: тороидальная, плоская; по способу восстановления аккумулятора: системы с зарядом аккумулятора, системы с заменой аккумулятора. В системе с зарядом аккумулятора

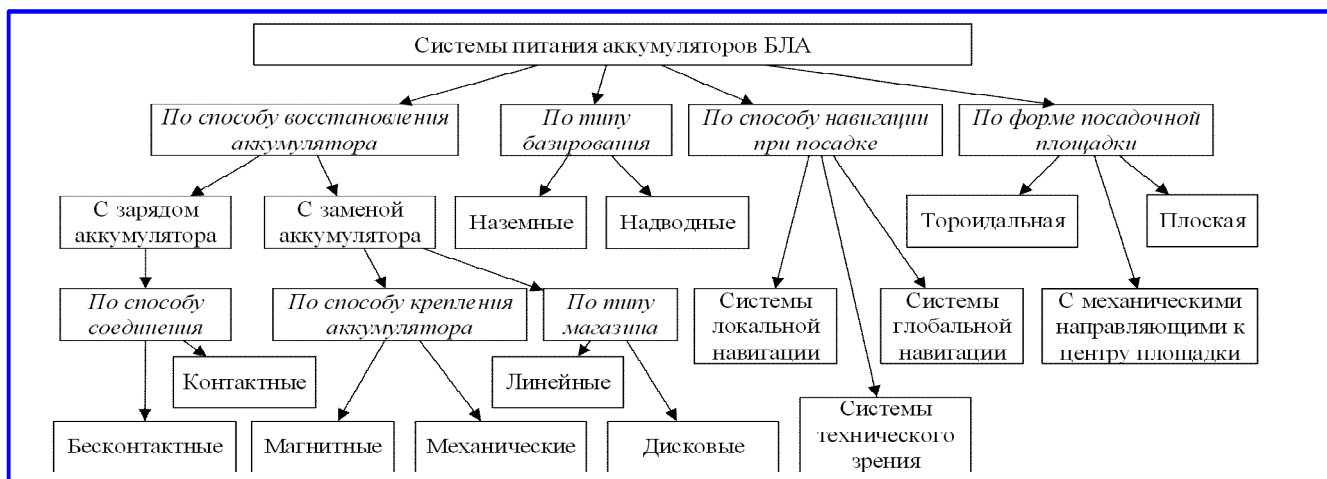


Рис. 1. Классификация роботизированных систем сервисного обслуживания питания аккумуляторов МК

имеются два типа: контактные и бесконтактные. В системе с заменой аккумулятора в зависимости от способа крепления аккумулятора имеются магнитные и механические системы; по типу размещения аккумуляторов имеются линейные и дисковые магазины.

Конструкции систем обслуживания элементов питания МК с зарядом аккумулятора являются более простыми и менее дорогостоящими. При этом скорость обслуживания не велика и количество одновременно заряжающихся МК ограничено. Системы с заменой аккумулятора имеют конструкцию сложнее, но скорость их обслуживания гораздо быстрее, в связи с чем увеличивается и количество прошедших зарядку МК.

Учитывая увеличивающиеся перспективы бесконтактных способов зарядки и сервисных станций с заменой аккумулятора, на МК была разработана алгоритмическая модель взаимодействия набора МК с сервисной наземной роботизированной станцией. На рис. 2 представлена алгоритмическая модель работы системы сервисного обслуживания питания аккумуляторов МК при решении целевой аграрной задачи. Первым этапом является контроль текущего заряда аккумулятора МК. Если батарея разряжена, то МК подлетает к платформе.

Следующим этапом является постановка МК в очередь на обслуживание в соответствии с текущим зарядом аккумулятора. После получения сигнала требования зарядки от МК система оповещает МК о наличии достаточной площади для посадки. Получив сигнал, МК приземляется на платформу с допустимой ошибкой, устраняемой далее автоматической системой позиционирования. После посадки система позиционирует МК в нужное положение и блокирует МК. Затем следует этап извлечения аккумулятора из МК. После того, как разряженный аккумулятор извлечен и перемещен в зону зарядки, полная батарея помещается в МК. Затем следует этап расстыковки и взлёта МК.

Выводы

Беспилотные летательные аппараты сейчас активно используются для мониторинга угодий, составления картограмм урожайности земель, планирования зон внесения удобрений. Уже появляются первые прототипы, физически взаимодействующие с окружающими объектами, что требует потребления ещё больших энергоресурсов. Совместная работа роботизированных наземных платформ и мультикоптеров позволяет существенно увеличить продолжительность работы в автономной миссии.

В статье проанализированы требования систем обслуживания аккумуляторов беспилотных летательных

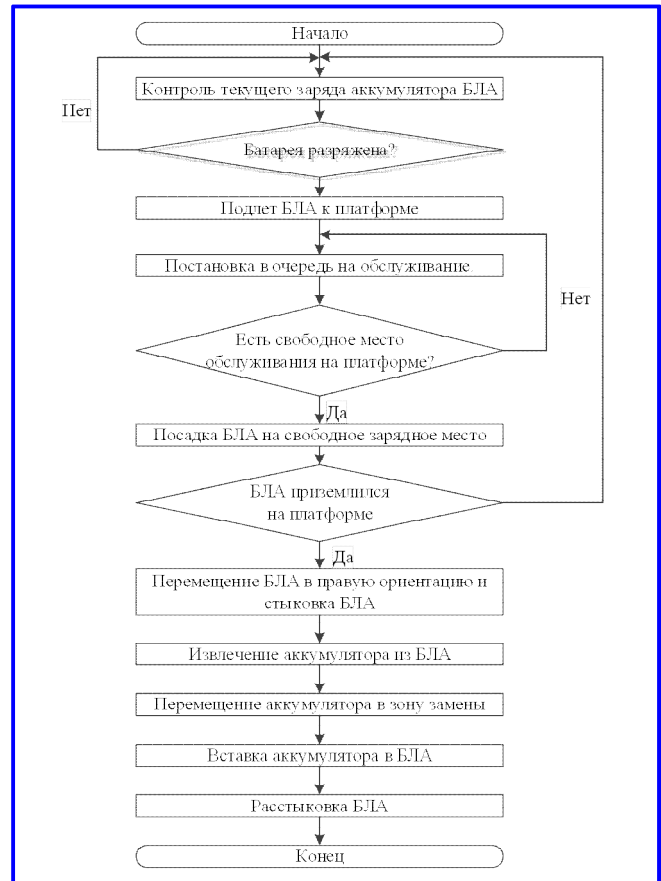


Рис. 2. Алгоритм обслуживания МК на наземной сервисной платформе

аппаратов для трёх основных целевых областей: сфера развлечений, фермерство, безопасность. Анализируя требования и ограничения беспилотных систем, были выделены различные классы зарядных станций аккумуляторов МК, отличающиеся скоростью обработки и сложностью обслуживающего механизма.

Роботизированные системы сервисного обслуживания модулей энергопитания МК можно разделить на две основные категории: с зарядом или заменой аккумулятора. Системы с заменой аккумулятора имеют более сложные конструкции, но обеспечивают высокую скорость обслуживания, в связи с чем увеличивается количество МК, прошедших пополнение энергоресурсов.

Предложен алгоритм обслуживания МК на наземной сервисной платформе, включающий основные этапы взаимодействия бортовых систем сервисного обслуживания питания аккумуляторов МК при решении целевой аграрной задачи.

Наиболее перспективным методом восстановления аккумулятора является использование беспроводных способов. Основная проблема существующих серийно выпускаемых решений систем

беспроводной передачи энергии состоит в малой передаваемой мощности. Ёмкость аккумуляторов автономных роботов значительно превосходит ёмкость источников питания смартфонов и других маломощных устройств, обширный рынок которых диктует требования разработчикам и производителям. Для зарядки робототехнических систем требуются мощности, в десятки раз превосходящие те, что могут предложить зарядные устройства существующих стандартов. В дальнейшей работе будет выполнена разработка и прототипирование беспроводной зарядной станции для аккумуляторов МК.

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

Литература

1. Липа О. А., Беляева Л. В., Копылов С. И., Хромов Е. В. Способы упрощения кинематических схем привода сельскохозяйственных машин на базе линейного асинхронного двигателя // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2015. – Т. 144. – С. 16 – 20.
2. Князь В. А., Вишняков Б. В., Визильтер Ю. В., Горбачевич 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. 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>.
4. 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. – V. 61. – P. 369 – 397.
5. 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. – V. 113. – 02009.

6. Ву Д. К., Нгуен В. В., Солёная О. Я., Ронжин А. Л. Анализ задач аграрной робототехники, решаемых посредством беспилотных летательных аппаратов // Агрофизика. – 2017. – № 3. – С. 57 – 65.
7. Кодяков А. С., Павлюк Н. А., Будков В. Ю. Исследование устойчивости конструкции антропоморфного робота Антарес при воздействии внешней нагрузки // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2017. – Т. 18. – № 5. – С. 321 – 327.
8. 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. – V. 84. – P. 511 – 528.
9. 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. – V. 38. – P. 179 – 191.
10. 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. – V. 84. – P. 529 – 541.
11. 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. – V. 74. – P. 113 – 127.
12. 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. – V. 53. – P. 399 – 416.
13. 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. – V. 61. – P. 369 – 397.
14. 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. – V. 65. – P. 563 – 586.

Поступила в редакцию 24.11.2017

Оксана Ярославна Солёная, кандидат технических наук, доцент, e-mail: osolenaya@list.ru, т. (981) 707-41-75.

Куок Тьен Нго, аспирант, e-mail: quoctienbn@gmail.com, т. (905) 234-56-80.

(ФГАОУВО «Государственный университет аэрокосмического приборостроения» (ГУАП)).

Андрей Леонидович Ронжин, доктор технических наук, профессор, e-mail: ronzhin@iias.spb.su, т. (911) 253-24-32. (СПИИРАН).

ANALYSIS OF REQUIREMENTS AND LIMITATIONS FOR MOBILE ELECTROMECHANICAL SERVICE SYSTEMS OF STORAGE BATTERIES OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

O. Ia. Solenaiá, Q. T. Ngo, A. L. Ronzhin

The article describes the existing examples of prototypes of ground robotic platforms used as landing sites for unmanned aerial vehicles which in some cases are equipped with power supply module service mechanisms. The basic requirements for multicopter battery service robotic systems depending on operating conditions, required processing rate, operators' experience and other parameters are analyzed. The

key problems are still the vehicle autonomous landing on the platform and storage battery maintenance method. The main features of the existing prototypes of service robotic platforms are complicated internal mechanisms, service rate, algorithms of joint operation of the platform and aerial vehicle during landing and battery maintenance. The classification of multicopter battery power supply service robotic systems is represented; this classification has been elaborated using the following criteria: type of stationing, navigation method used during landing, shape of the landing site, power supply module recovery method. The suggested algorithmic model of operation of a multicopter battery power supply service system on a ground robotic platform while performing an agricultural task is described. Since wireless methods are considered the most promising methods of storage battery recovery, further work will be focused on designing and prototyping a wireless charging station for multicopter batteries.

Key words: service robotic systems, collaborative robots, unmanned aerial vehicles, storage batteries, wireless charging systems.

List of References

1. Lipa O. A., Beliaeva L. V., Kopylov S. I., Khromov E. V. Methods of simplification of agricultural machines drive circuits on the basis of a linear asynchronous motor // Matters of Electromechanics. VNIEM Proceedings, 2015. – Vol. 144. – Pp. 16 – 20.
2. Kniiaz V. A., Vishniakov B. V., Vizilter Iu. V., Gorbatshevich V. S., Vygolov O.V. Technologies of intelligent data processing for navigation and unmanned aerial vehicle control tasks // SPIIRAS Proceedings. – 2016. – Issue 45. – pp. 26 – 44.
3. Bogushevskaya V.A., Zaiats O.V., Masliakov Ia.N., Matsak I.S., Nikonov A.A., Savelev V.V., Sheptunov A.A. Development of a remote power supply system of unmanned aerial vehicles // MAI Proceedings. – 2012. – No. 51. – URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=29047>.
4. 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. – V. 61. – P. 369 – 397.
5. 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. – V. 113. – 02009.
6. Vu D.Q., Nguyen V.V., Solenaia O.Ia., Ronzhin A.L. Analysis of agricultural robotics tasks solved with the use of unmanned aerial vehicles // Agrophysica. – 2017. – No. 3. – Pp. 57 – 65.
7. Kodiakov A. S., Pavliuk N. A., Budkov V. Iu. Investigation of structural stability of anthropomorphous robot Antares under external loads // Mechatronics, automation, control. – 2017. – Vol. 18. – No. 5. – Pp. 321 – 327.
8. 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. – V. 84. – P. 511 – 528.
9. 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. – V. 38. – P. 179 – 191.
10. 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. – V. 84. – P. 529 – 541.
11. 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. – V. 74. – P. 113 – 127.
12. 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. – V. 53. – P. 399 – 416.
13. 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. – V. 61. – P. 369 – 397.
14. 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. – V. 65. – P. 563 – 586.

Oksana Iaroslavna Solenaia, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor,
e-mail: osolenaya@list.ru, tel.: +7 (981) 707-41-75.

Quoc Tien Ngo, Ph.D. Student, e-mail: quoctienbn@gmail.com, tel.: +7 (905) 234-56-80.
(Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI)).

Andrei Leonidovich Ronzhin, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor,
e-mail: ronzhin@ias.spb.su, tel.: +7 (911) 253-24-32.

(St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS)).