УДК 004.942
DOI 10.18413/2411 -3808-2019-46-4-731 -740

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ РОБОТОВ

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL MODELS OF AGRICULTURAL HETEROGENEOUS ROBOTS

К.Т. Нго[1], В.В. Нгуен[1], А.Л. Ронжин[1,2]
Q.T. Ngo[1], V.V. Nguen[1], A.L. Ronzhin[1,2]

'^Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,
Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 67
2)Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук,
Россия, 199178, г. Санкт-Петербург, 14 линия В.О., 39

1)Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,
67 B. Morskaya St, Saint Petersburg, 190000, Russia
2)Saint Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences,
39 14th line St (Vasilyevskyi ostrov), Saint Petersburg, 199178, Russia

E-mail: quoctienbn@gmail.com, ronzhin@iias.spb.su

Аннотация
Обсуждается проблема взаимодействия робототехнических комплексов, функционирующих в разных средах, вызванная, с одной стороны, ограниченной зоной мониторинга наземных средств и малым объемом энергоресурсов беспилотных летательных аппаратов, с другой стороны. Описана задача информационного и физического взаимодействия наземных сервисных робототехнических платформ и беспилотных летательных аппаратов (БЛА), направленная на увеличение времени функционирования БЛА в длительных автономных операциях на сельскохозяйственных полях, что в конечном итоге будет способствовать сокращению сроков и стоимости обработки аграрных угодий. Рассмотрены структурная, функциональная, конструкторская модели наземной сервисной роботизированной платформы и управления ее взаимодействием с БЛА при обслуживании энергоресурсов и контейнера с физическими запасами. Результаты численного и имитационного моделирования необходимого количества робототехнической техники для обработки сельскохозяйственного угодья выполнены в программе AgrobotModeling, ориентированной для исследовательских целей, а также использование как малыми фермерскими хозяйствами, так и крупными агрохолдингами.

Abstract
The problem of the interaction of robotic systems operating in different environments, caused, on the one hand, by the limited monitoring area of ground facilities and the small amount of energy resources of unmanned aerial vehicles, on the other hand, is discussed. The objective of information and physical interaction of ground service robotic platforms and unmanned aerial vehicles (UAVs) is described. It is aimed at increasing the operating time of UAVs in long-term autonomous operations on agricultural fields, which will ultimately help to reduce the time and cost of processing agricultural land. The structural, functional, design models of the ground service robotic platform and the management of its interaction with the UAV when servicing energy resources and a container with physical reserves are considered. The results of numerical and simulation modeling of the required number of robotic equipment for processing agricultural land were performed in the AgrobotModeling program focused on research goals, as well as on large farms.

Ключевые слова: структурная, функциональная, конструкторская модель, беспилотный летательный аппарат, сельскохозяйственное угодье, AgrobotModeling.
Keywords: structural, functional, design model, unmanned aerial vehicle, agricultural land, AgrobotModeling.

Введение

Беспилотные летательные аппараты, благодаря своей универсальности и возможности программирования алгоритмов их функционирования, решают широкий спектр задач, например, поиск объектов, осмотр зданий, наблюдение и т. д. [Максимов, 2019; Минь, 2018; Полтавский, 2018; Хрусталев, 2018; Шилин, 2018]. Кроме задач наблюдения рассматривается возможность физического взаимодействия БЛА с наземными объектами. Также представляет интерес использования наземных сервисных платформ с различной степенью автономности для обслуживания БЛА с целью увеличения их длительности работы на удаленной от места хранения территории [By, 2017; Nguyen, 2017].

Существует два основных подхода при обслуживании аккумуляторов БЛА: зарядка или замена. В работе [Kemper, 2011] предложена система замены аккумулятора БЛА на робототехнической платформе. Использование системы значительно увеличивает время 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 [Tsampikos, 2019] 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.

При функционировании сервисной станции в работе [Suzuki, 2012] 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.

В работе [Kemper, 2011] описаны 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 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, т. к. 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, когда требуются точные посадки на небольшой площадке в сложных погодных условиях.

Наиболее перспективным методом восстановления аккумулятора является использование беспроводных способов. Основная проблема существующих серийно выпускаемых решений систем беспроводной передачи энергии состоит в малой передаваемой мощности. Емкость аккумуляторов автономных роботов значительно превосходит емкость 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.

Основные результаты исследования

При формализации задачи взаимодействия гетерогенных сельскохозяйственных роботизированных комплексов и диспетчеризации процесса обслуживания беспилотных летальных аппаратов на наземных сервисных платформах можно выделить следующие основные сущности: сельскохозяйственное пространство, беспилотный летальный аппарат, наземная сервисная платформа, наземный центр управления. Рассмотрим структурную модель взаимодействия гетерогенных сельскохозяйственных роботизированных комплексов, представленную на рисунке 1. Техническое оснащение наземной сервисной платформы можно упрощенно разделить на две основные группы: 1) система управления платформой, содержащая блок коммуникации и навигации, блок управления энергопитанием, блок сенсоров, блок управления встроенным оборудованием; 2) сервисная система обслуживания БЛА, оснащенная блоком взлета/посадки БЛА, блоком позиционирования БЛА, блоком обслуживания аккумулятора БЛА, блоком загрузки/разгрузки ресурсов, используемых для работы на сельскохозяйственных полях, таких как сельскохозяйственные продукты, удобрения, семена и т. д.

Рис. 1. Структурная модель взаимодействия гетерогенных сельскохозяйственных роботизированных комплексов
Fig. 1. Structural model of the interaction of heterogeneous agricultural robotic complexes

Отличительной особенностью разрабатываемого прототипа роботизированной платформы является наличие встроенных парковочных мест для нескольких БЛА. Основными конструктивными компонентами платформы являются: 1) шасси, обеспечивающая передвижение платформы по сельскохозяйственным угодьям; 2) мультисенсорная система для определения локальных препятствий при перемещении платформы; 3) система энергопитания, обеспечивающая необходимую мощность для потребления самой платформой и набором БЛА при возникновении необходимости их подзарядки; 4) навигационная система, состоящая из двух подсистем, одна из которых контролирует движение платформы между местом базирования и рабочей территорией на основе средств глобальной навигации, а вторая локальная система разворачивается непосредственно на рабочей территории перед началом проведения аграрной операции с использованием радионавигационных БЛА; 5) коммуникационная система, реализующая информационное взаимодействие между подвижной платформой, набором БЛА и базовой станцией; 6) кузовная часть платформы, содержащая отсек полезной нагрузки, а также парковочные места для набора БЛА.

На рисунке 2 показана функциональная модель платформы в автономных аграрных миссиях и совместная работа набора БЛА при обработке сельскохозяйственных объектов. БЛА через коммуникационную систему передает на наземную станцию следующие параметры: время полета, емкость аккумулятора, текущее местоположение БЛА. Одновременно БЛА принимает информацию о местоположении наземной станции и готовности обслуживания. В случае, если батарея БЛА имеет низкий заряд или требуется обслуживание встроенного контейнера физических ресурсов (например, с минеральными удобрениями), БЛА выдает запрос на посадку. После подтверждения возможности обслуживания БЛА приземляется на выбранной наземной станции, система управления БЛА управляет процессом посадки БЛА на наземной станции. Коммуникационная система позволяет передавать информацию между БЛА и наземной станцией по параметрам: положение БЛА, положение платформы, емкость аккумулятора БЛА, вид обслуживания. На наземной станции имеется отсек полезной нагрузки и стыковочное место для БЛА. Отсек полезной нагрузки позволяет хранить полезные грузы, такие как удобрения, семена, сбор урожая и т. д. Стыковочное место для БЛА включает в себя: систему контроля приземления БЛА, систему позиционирования и механизм блокировки БЛА, механизм подзарядки/замены аккумуляторов БЛА и системы контроля готовности БЛА для взлета.

Фиксированная система и механизм блокировки БЛА в модели спроектированы по краям платформы, которые могут открываться с помощью гидравлических подъемных механизмов. Система контроля приземления БЛА позволяет проверить статус посадки БЛА, подтверждая, что БЛА приземлился или нет. Затем передаются такие параметры, как текущее местоположение БЛА в механизм управления платформой. Системы контроля готовности БЛА для взлета получает информацию ёмкости аккумулятора, миссия взлёта БЛА. Затем передает управляющую информацию другим встроенным механизмам. Механизм подзарядки/замены аккумуляторов БЛА получает подтверждение приземления БЛА, выполняет процесс подзарядки/замены аккумуляторов БЛА и передает информацию о уровне заряда аккумулятора БЛА. Система контроля приземления БЛА подтверждает статус посадки БЛА, когда БЛА приземлился на наземную станцию. Эта информация передается на систему позиционирования и механизм блокировки БЛА, который фиксирует и блокирует БЛА в требуемом месте. Система контроля готовности БЛА для взлета проверяет емкость аккумулятора, затем передает информацию в механизм подзарядки/замены аккумуляторов БЛА, в котором процесс подзарядки/замены аккумуляторов БЛА выполняется до тех пор, пока система контроля готовности БЛА для взлета подтвердит, что аккумулятор заряжен. Система контроля готовности БЛА для взлета получает информацию о следующей задаче, передаваемой на БЛА. Когда система подтверждает, что БЛА готов для взлета, информация передается в механизм блокировки БЛА для разблокировки. При взлете БЛА, система контроля приземления БЛА подтверждает, что БЛА взлетел, и имеется свободное место для посадки, станция готова принять следующий БЛА.

Рис. 2. Функциональная модель сервисной наземной платформы
Fig. 2. Functional model of the service ground platform

Далее рассмотрим некоторые конструктивные особенности позиционирования БЛА для подключения к системе энергопитания сервисной платформы. Аккумуляторы удерживаются на БЛА в определенной позиции. Чтобы иметь возможность работать с ними, необходимо разместить БЛА в определенном месте после его посадки. В данном исследовании предполагается, что наземные станции находятся вне помещения и погодные условия могут изменяться, что усложняет процесс точной посадки. Поэтому далее основное внимание уделим не алгоритмам посадки, а способам позиционирования БЛА после приземления с небольшой ошибкой. Системы управления полетом БЛА совершают некоторую допустимую погрешность при посадке из-за ошибок навигации, погодных условий и т. д. Задача состоит в том, чтобы переместить БЛА из неидеального посадочного положения в место, где будет проводиться замена аккумулятора.

На рисунке 3 показана модель позиционирования и фиксации БЛА в центре с использованием четырех скользящих рычагов, которые могут плавно перемещаться по спиральным связям. Скользящие рычаги соответствуют разной высоте, чтобы свободно перемещаться, не препятствуя друг другу. Когда приземлился БЛА, рычаги выполняют поступательное движение в центральное положение при вращении вала. БЛА центрируется и фиксируется в положении для замены аккумулятора.

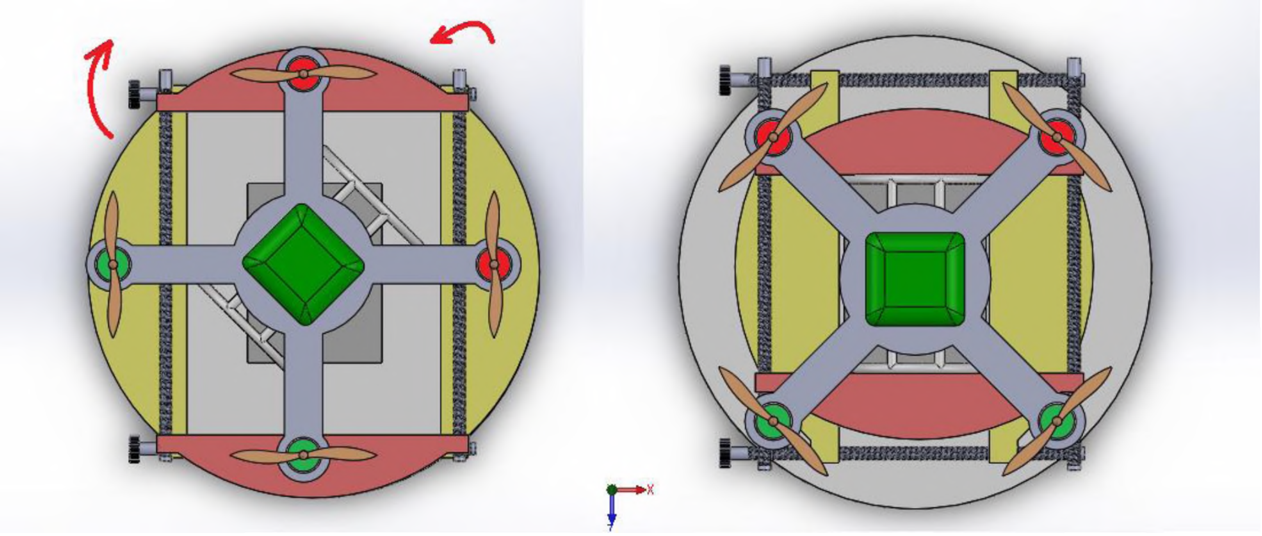

Рис. 3. Конструктивная модель системы позиционирования БЛА на наземной сервисной платформе
Fig. 3. A constructive model of a UAV positioning system on a ground service platform

Система удержания аккумулятора в БЛА должна иметь небольшой вес, надежно удерживать аккумулятор во время полета, выдерживать небольшие удары, поддерживать клеммы аккумулятора БЛА и обеспечивать простую установку и извлечение батареи при необходимости. На рисунке 4 показан пример разработанного механического соединителя для батарейного отсека БЛА.

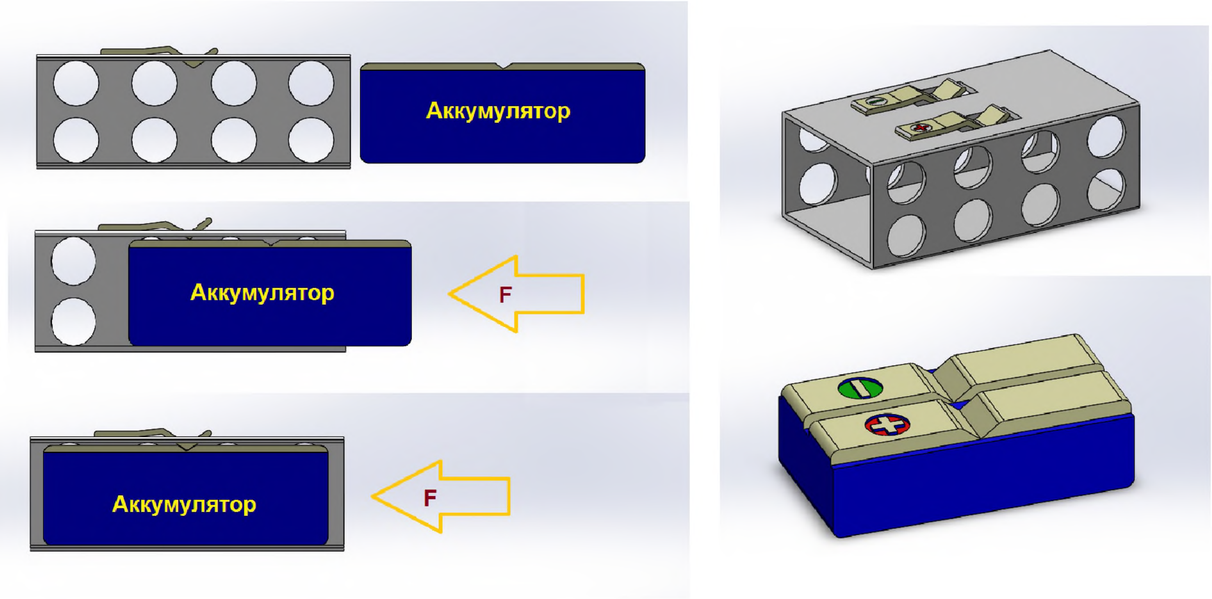

Рис. 4. Пример механического соединителя для батарейного отсека БЛА
Fig. 4. An example of a mechanical connector for the UAV battery compartment

Он состоит из корпуса и эластичных углообразных защелок, надежно фиксирующих аккумулятор. При срабатывании вверх защелки изгибаются, позволяя батарее проходить, поскольку корпус батареи имеет соответствующие выемки на его боках, это позволяет защелке заблокировать батареи на месте.

В рассматриваемой задаче сельскохозяйственного применения БЛА наземная платформа производит обмен энергетическими и физическими ресурсами с БЛА. Разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение управления взаимодействием гетерогенных сельскохозяйственных робототехнических комплексов описано в работах [Нго, 2018; Ронжин, 2018; Ву, 2017].

На рисунке 5 представлена программа многокритериальной оценки необходимого количества робототехнической техники для обработки заданного сельскохозяйственного угодья AgrobotModeling, предназначенная для расчета количества беспилотных летательных аппаратов и наземных сервисных подвижных платформ, задействованных в обработке сельскохозяйственного угодья заданной площади. Пользовательский интерфейс программы обеспечивает визуализацию процесса моделирования обработки сельскохозяйственного угодья с различным числом платформ и БЛА. Интерфейс содержит 4 основных блока, отражающих параметры угодья, платформы и БЛА, а также элементы управления и индикации прошедшего времени.

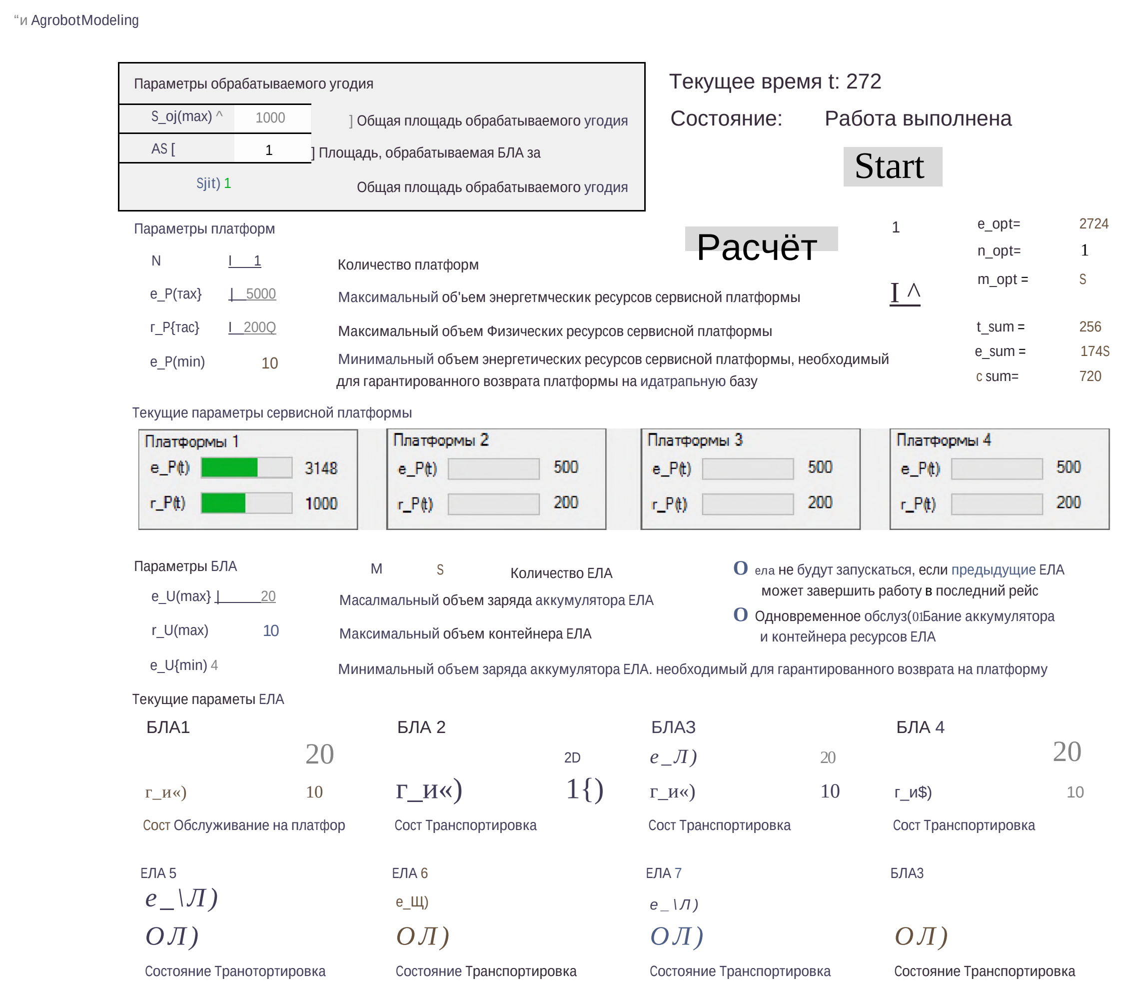

Рис. 5. Результаты моделирования в программе AgrobotModeling
Fig. 5. Simulation results in AgrobotModeling

В программе производятся имитационное моделирование функционирования выбранного количества робототехнических средств, а также расчет многокритериальной оценки на основе линейной комбинации трех основных критериев: суммарное время обработки, суммарная израсходованная энергия, суммарная стоимость задействованной техники. Значения весов выбираются экспертным путем в зависимости от заданного приоритета скорости обработки, например, в случае прогнозирования ухудшения погоды и риска потери урожая, или приоритета снижения стоимости обработки угодья. Программа имеет наглядный пользовательский интерфейс и ориентирована на использование как малыми фермерскими хозяйствами, так и крупными агрохолдингами.

Далее рассмотрим результаты численных экспериментов по оцениванию количества необходимой техники для обработки сельскохозяйственного угодья и выбору оптимального значения параметров. При этом будем менять значения входных параметров в следующих диапазонах: n = [1,2,_10]; m = [1,2,_8]; = [1000, 10000]; w_t, W_e, W_c = {(1,1,1); (3,1,1); (1,2,3)}, в разных комбинациях, необходимых для исследования предложенных моделей и выявления сложных случаев.

На рисунке 6 показан пример численных экспериментов по выбору оптимальных значений количества платформ и БЛА для обработки заданной площади сельскохозяйственного угоди при разных весовых коэффициентах необходимой скорости обработки и затрачиваемых ресурсов. Приведена зависимость многокритериальной оценки количества задействованной техники при равных весах W_t, W_e, W_c = (1,1,1) и оптимальные значения количества платформ и БЛА равны соответственно: n_opt=1, m_opt=4. Надо отметить, что в ходе оптимизации мы стремимся получить меньшие значения по времени, стоимости и потребляемой энергии. Следовательно, при выборе значений весов наиболее важному критерию мы должны присваивать большее значение.

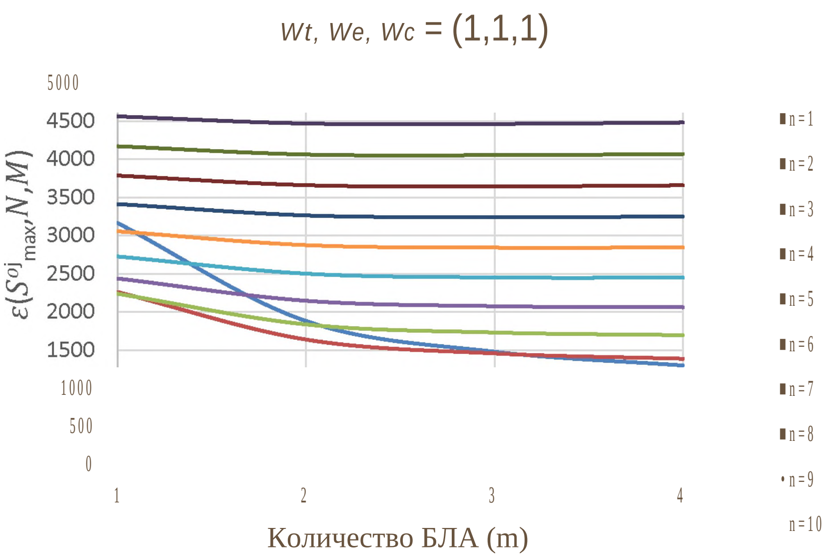

Рис. 6. Многокритериальная оценка количества задействованной техники при M=4, = 1000, w_t, w_e, w_c = (1,1,1)

Fig. 6. Multicriteria assessment of the number of equipment involved in M=4, = 1000, w_t, w_e, w_c = (1,1,1)

Заключение

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 еще больших энергоресурсов. Совместная работа роботизированных наземных платформ и БЛА позволяет существенно увеличить продолжительность работы в автономной миссии.

Предложенные структурная и функциональная модели служат основой для анализа способов управления и взаимодействия наземных сервисных платформ и беспилотных летательных аппаратов при решении аграрных задач. Программа AgrobotModeling позволяет провести моделирование, визуализацию и оценивание разного количества платформ и беспилотных летательных аппаратов при обработке заданной площади сельскохозяйственного угодья.

Список литературы

1. Ву Д.К., Нгуен В.В., Соленая О.Я., Ронжин А.Л. 2017. Анализ задач аграрной робототехники, решаемых посредством беспилотных летательных аппаратов. Агрофизика. 3: 57-65.
2. Ву Д.К., Нгуен В.В., Соленая О.Я., Ронжин А.Л. 2017. Обзор задач точного земледелия и аграрных роботизированных средств. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 3 (77): 13-19.
3. Ву Д.К., Соленая О.Я., Ронжин А.Л. 2017. Обзор робототехнических захватов для физических манипуляций с аграрной продукцией. Тракторы и сельхозмашины. 12.
4. Максимов Д.Ю., Легович Ю.С., Гончаренко В.И. 2019. Управление в смешанной группе пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов. Системы управления и информационные технологии. 1 (75): 77-83.
5. Минь Ч.Х., Куанг Н.Т., Пащенко Ф.Ф. 2018. Численное решение задачи оценки полноты характеристик беспилотного летательного аппарата методом структурно-параметрического синтеза. Электромагнитные волны и электронные системы. 1 (23): 24-29.
6. Нго К.Т., Нгуен В.В., Харьков И.Ю., Усина Е.Е, Шумская О.О. 2018. Функциональная модель взаимодействия БЛА с наземной роботизированной платформой при решении сельскохозяйственных задач. Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 6(86): 283-292.
7. Нго К.Т., Соленая О.Я., Ронжин А.Л. 2017. Анализ подвижных роботизированных платформ для обслуживания аккумуляторов беспилотных летательных аппаратов. Труды МАИ. 95. http://trudymai.ru/published.php?ID=84444
8. Полтавский А.В., Фыонг Н.З. 2018. Анализ развития телекоммуникационных систем управления и связи с помощью беспилотных летательных аппаратов. Двойные технологии. 2 (83): 69-75.
9. Ронжин А.Л., Нгуен В.В., Соленая О.Я. 2018. Анализ проблем разработки беспилотных летательных манипуляторов и физического взаимодействия БЛА с наземными объектами. Труды МАИ. 98: 26. http://trudymai.ru/published.php?ID=90439
10. Хрусталев М.М., Халина А.С. 2018. Идентификаторы пониженной размерности в задаче стабилизации беспилотного летательного аппарата в неспокойной атмосфере. Труды МАИ. 102: 22.
11. Шилин С.А. 2018. Повышение эффективности беспилотных летательных аппаратов многоразового применения на основе использования бортовых систем самодиагностики. Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 5: 11-15.
12. Kemper P.F., Suzuki K.A.O., Morrison J.R. 2011. UAV Consumable Replenishment: Design Concepts for Automated Service Stations. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 61: 369-397.
13. Nguyen V., Vu Q., Solenaya O., Ronzhin A. 2017. 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" - MATEC Web of Conferences. 113(02009).
14. Suzuki K.A.O., Filho P.K., Morrison J.R. 2012. Automatic Battery Replacement System for UAVs: Analysis and Design. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 65: 563-586.
15. Tsampikos Kounalakis, Georgios A. Triantafyllidis, Lazaros Nalpantidis. 2019. Deep learning-based visual recognition of rumex for robotic precision farming. Computers and Electronics in Agriculture. 165(104973). https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104973.

References

1. Vu D.K., Nguen V.V., Solenaja O.Ja., Ronzhin A.L. 2017. Analiz zadach agrarnoj robototehniki, reshaemyh posredstvom bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Analysis of the tasks of agricultural robotics solved by unmanned aerial vehicles]. Agrofizika. 3: 57-65.

2. Vu D.K., Nguen V.V., Solenaja O.Ja., Ronzhin A.L. 2017. Obzor zadach tochnogo zemledelija i agramyh robotizirovannyh sredstv [Overview of precision farming tasks and agricultural robotic tools]. Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN. 3 (77): 13-19.

3. Vu D.K., Solenaja O.Ja., Ronzhin A.L. 2017. Obzor robototehnicheskih zahvatov dlja fizicheskih manipuljacij s agrarnoj produkciej [Overview of robotic grips for physical manipulation of agricultural products. Tractors and agricultural machinery]. Traktory i sel'hozmashiny. 12.

4. Maksimov D.Ju., Legovich Ju.S., Goncharenko V.I. 2019. Upravlenie v smeshannoj gruppe pilotiruemyh i bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Management in a mixed group of manned and unmanned aerial vehicles]. Sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii. 1 (75): 77-83.

5. Min' Ch.H., Kuang N.T., Pashhenko F.F. 2018. Chislennoe reshenie zadachi ocenki polnoty harakteristik bespilotnogo letatel'nogo apparata metodom strukturno-parametricheskogo sinteza [Numerical solution of the problem of assessing the completeness of the characteristics of an unmanned aerial vehicle by the method of structural-parametric synthesis]. Jelektromagnitnye volny i jelektronnye sistemy. 1 (23): 24-29.

6. Ngo K.T., Nguen V.V., Har'kov I.Ju., Usina E.E, Shumskaja O.O. 2018. Funkcional'naja model' vzaimodejstvija BLA s nazemnoj robotizirovannoj platformoj pri reshenii sel'skohozjajstvennyh zadach [A functional model of the interaction of UAVs with a ground-based robotic platform for solving agricultural problems]. Izvestija Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo universiteta. 6(86): 283-292.

7. Ngo K.T., Solenaja O.Ja., Ronzhin A.L. 2017. Analiz podvizhnyh robotizirovannyh platform dlja obsluzhivanija akkumuljatorov bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Analysis of mobile robotic platforms used to batteries service of unmanned aerial vehicles in autonomous missions]. Trudy MAI. 95. http: //trudymai .ru/published.php?ID=84444

8. Poltavskij A.V., Fyong N.Z. 2018. Analiz razvitija telekommunikacionnyh sistem upravlenija i svjazi s pomoshh'ju bespilotnyh letatel'nyh apparatov [Analysis of the development of telecommunication control and communication systems using unmanned aerial vehicles]. Dvojnye tehnologii. 2 (83): 69-75.

9. Ronzhin A.L., Nguen V.V., Solenaja O.Ja. 2018. Analiz problem razrabotki bespilotnyh letatel'nyh manipuljatorov i fizicheskogo vzaimodejstvija BLA s nazemnymi ob#ektami [Analysis of the problems of developing unmanned aerial manipulators and the physical interaction of UAVs with ground objects]. Trudy MAI. 98: 26. http://trudymai.ru/published.php?ID=90439

10. Hrustalev M.M., Halina A.S. 2018. Identifikatory ponizhennoj razmernosti v zadache stabilizacii bespilotnogo letatel'nogo apparata v nespokojnoj atmosfere [Low-dimensional identifiers in the task of stabilizing an unmanned aerial vehicle in a turbulent atmosphere]. Trudy MAI. 102: 22.

11. Shilin S.A. 2018. Povyshenie jeffektivnosti bespilotnyh letatel'nyh apparatov mnogorazovogo primenenija na osnove ispol'zovanija bortovyh sistem samodiagnostiki [Improving the efficiency of reusable unmanned aerial vehicles based on the use of on-board self-diagnosis systems]. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika. 5: 11-15.

12. Kemper P.F., Suzuki K.A.O., Morrison J.R. 2011. UAV Consumable Replenishment: Design Concepts for Automated Service Stations. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 61: 369-397.

13. Nguyen V., Vu Q., Solenaya O., Ronzhin A. 2017. 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" - MATEC Web of Conferences. 113(02009).

14. Suzuki K.A.O., Filho P.K., Morrison J.R. 2012. Automatic Battery Replacement System for UAVs: Analysis and Design. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 65: 563-586.

15. Tsampikos Kounalakis, Georgios A. Triantafyllidis, Lazaros Nalpantidis. 2019. Deep learning-based visual recognition of rumex for robotic precision farming. Computers and Electronics in Agriculture. 165(104973). https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104973.

Ссылка для цитирования статьи
For citation

Нго К.Т., Нгуен В.В., Ронжин А.Л. 2019. Структурно-функциональные модели сельскохозяйственных гетерогенн^хх роботов. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. 46 (4): 731-740. DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-731-740

Ngo Q.T., Nguen V.V., Ronzhin A.L. 2019. Structural and functional models of agricultural heterogeneous robots. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies. 46 (4): 731-740 (in Russian). DOI 10.18413/2411-3808-2019-46-4-731-740