# Об одной схеме автономного исследовательского робота

Ефим Д. Баран, Жанна С. Першина, Наталья А. Савицкая
Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

***Аннотация*** **– Рассматриваются состав и алгоритмы функционирования робототехнического исследовательского комплекса, состоящего из основной мобильной платформы, передвигающейся по поверхности, и миниатюрного беспилотного летательного аппарата (БПЛА). При соответствующем распределении функций базы и БПЛА появляется возможность увеличения размеров области, обследуемой с целью построения маршрута, и, тем самым, минимизировать вероятность нерационального планирования движения, снижения потребления энергии и увеличения времени полезного функционирования.**

***Ключевые слова*** **– Робототехнический комплекс, автономный исследовательский робот, БПЛА.**

## I. Введение

Увеличение времени автономного функционирования в условиях ограниченности энергоресурсов является одной из важнейших задач, решаемых при разработке и эксплуатации исследовательского робота [1].

Восполнение энергии, расходуемой роботом непосредственно в процессе эксплуатации, зачастую невозможно, а в лучшем случае, как, например, при подзарядке от солнечных элементов, требует определенных затрат времени. Естественный способ увеличения продолжительности активной работы робота – снизить потребление энергии при выполнении отдельных целевых заданий.

Очевидно, что больше всего энергии расходуется при передвижении робота по исследуемой поверхности. При этом робот должен строить траекторию движения к заданной цели с учетом координат и размеров препятствий, обнаруживаемых бортовой сенсорной системой в реальном времени.

Поскольку дальность обнаружения препятствий ограничена характеристиками используемых технических средств, а также свойствами окружающей среды, общая траектория движения строится по результатам обследования локальных областей, размеры которых определяются возможностями сенсоров. Не исключено, что кратчайший в отдельной области путь впоследствии вынудит робота совершить обход вновь обнаруженных препятствий по более длинному маршруту. Более того, маршрут, оптимальный в одной или нескольких областях, может оказаться тупиковым, и роботу придется возвращаться (возможно, даже в точку старта) и искать новый план движения к конечной цели. В этих случаях неизбежны дополнительные потери энергии и времени, из-за которых робот не сможет выполнить все требуемые исследования.

## II. Постановка задачи

Нерациональные потери времени и энергии можно было бы уменьшить, если бы робот обладал более полной информацией о свойствах среды, в которой он должен передвигаться, например, о расположении и размерах препятствий, а также о непроходимых или опасных для робота участках.

Цель работы – оценить возможность повышения эффективности использования энергоресурсов автономного мобильного робота, реализованного в виде двух взаимодействующих подсистем – основной, выполняющей требуемые исследования окружающей среды, и вспомогательной, способной передвигаться независимо от основной и обеспечивающей сбор информации, необходимой для планирования перемещения комплекса.

## III. Состав робототехнического комплекса

Робототехнический комплекс представляет собой мобильную платформу (базу) и миниатюрный беспилотный летательный аппарат (БПЛА). База с установленным на борту научным оборудованием перемещается по исследуемой поверхности по маршруту, который составляется на основе информации, собираемой БПЛА. БПЛА способен подняться над базой и отдалиться от нее на определенное расстояние, выполняя обследование значительно большей площади поверхности, чем это возможно с помощью сенсоров базы. Тем самым создаются предпосылки для более рационального планирования движения комплекса. Далее будем полагать, что в качестве сенсоров в БПЛА используются видеокамеры, работающие в одном или нескольких спектральных диапазонах.

Подобные схемы широко применяются в военных разведывательных комплексах [2], состоящих из боевой машины и, как правило, автономного от нее БПЛА. Видеокамера, установленная на борту БПЛА, в реальном времени передает изображение исследуемой местности в центр управления комплексом. Эта информация используется оператором для дистанционного управления и БПЛА, и боевой машиной.

Однако в нашем случае такой гибридный робот должен функционировать полностью автономно, причем летательный аппарат может управляться как его собственной бортовой системой, так и дистанционно – компьютером базы. БПЛА после обследования некоторой области должен вернуться на базу для подзарядки аккумуляторов и получения следующего задания. Для этого на базе должна быть оборудована посадочная площадка и предусмотрена возможность подключения аккумулятора и бортового компьютера БПЛА к энергетической и вычислительной системам базы.



978-1-5090-4069-8/16/$31.00 ©2016 IEEE

## IV. АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Рассмотрим алгоритмы функционирования комплекса для разных способов управления БПЛА, учитывая энергию E, расходуемую компонентами комплекса на соответствующих этапах выполнения общей задачи.

При описании алгоритмов будем использовать следующие обозначения:

- P – мощность, потребляемая базой или БПЛА (или их компонентами) при выполнении некоторой частной задачи
- t – время выполнении соответствующей частной задачи
- нижний индекс указывает на компонент робота: B – база, Q – БПЛА
- верхний индекс – режим функционирования или компонент.

Для каждого этапа в скобках приводится энергия, расходуемая соответствующим компонентом комплекса.

### *A. Алгоритм A*

Полетом БПЛА управляет его собственная бортовая система. При этом БПЛА постоянно контролирует свое положение относительно базы и, возможно, в некоторой абсолютной системе координат. Упрощенная блок-схема алгоритма приведена на Рис. 1.

1. После запуска робота бортовой компьютер базы формирует задание для БПЛА ($E_B^{CPU}=P_B^{CPU}\cdot t_B^{CPU}$).
2. Задание передается в систему управления БПЛА. ($E_B^{Tr}=P_B^{Tr}\cdot t_B^{Tr}$) + ($E_Q^{Rec}=P_Q^{Rec}\cdot t_Q^{Rec}$).
3. База отправляет команду БПЛА на взлет.
4. База переходит в режим ожидания и снижает потребление энергии ($E_B^{Sl}=P_B^{Sl}\cdot t_B^{Sl}$).
5. БПЛА взлетает и выполняет полет по заданному маршруту ($E_Q^{Fl}=P_Q^{Fl}\cdot t_B^{Fl}$).
6. В процессе полета БПЛА делает k снимков поверхности, по которой предстоит передвигаться роботу, и передает каждый снимок на базу.
   - Для каждого снимка расходуется энергия на фотографирование EQSs1=PQSs ·tQSs и на передачу изображения EQTr=PQTr ·tQTr. Всего в БПЛА будет расходовано энергии EQSsk=k(PQSs·tBSs + PQTr·tQTr).
   - Одновременно на прием изображений базой будет израсходована энергия EBRec=PBRec·tBRec.
7. БПЛА возвращается на базу (необходимое количество энергии уже учтено в п.5).
8. БПЛА подключается к базе.
   - Происходит заряд аккумулятора БПЛА: (PBAc·tBAc).
9. Компьютер базы обрабатывает полученную информацию, строит маршрут движения базы и формирует новое задание для БПЛА: ($P_B^{CPU}\cdot t_B^{CPU}$).
10. База движется по маршруту, построенному на основе полученной информации: ($E_B^{Mov}=P_B^{Mov}\cdot t_B^{Mov}$).
11. Если аккумулятор БПЛА полностью заряжен и база закончила движение по i-тому маршруту, начинается выполнение следующей итерации общего задания – переход к п.1.

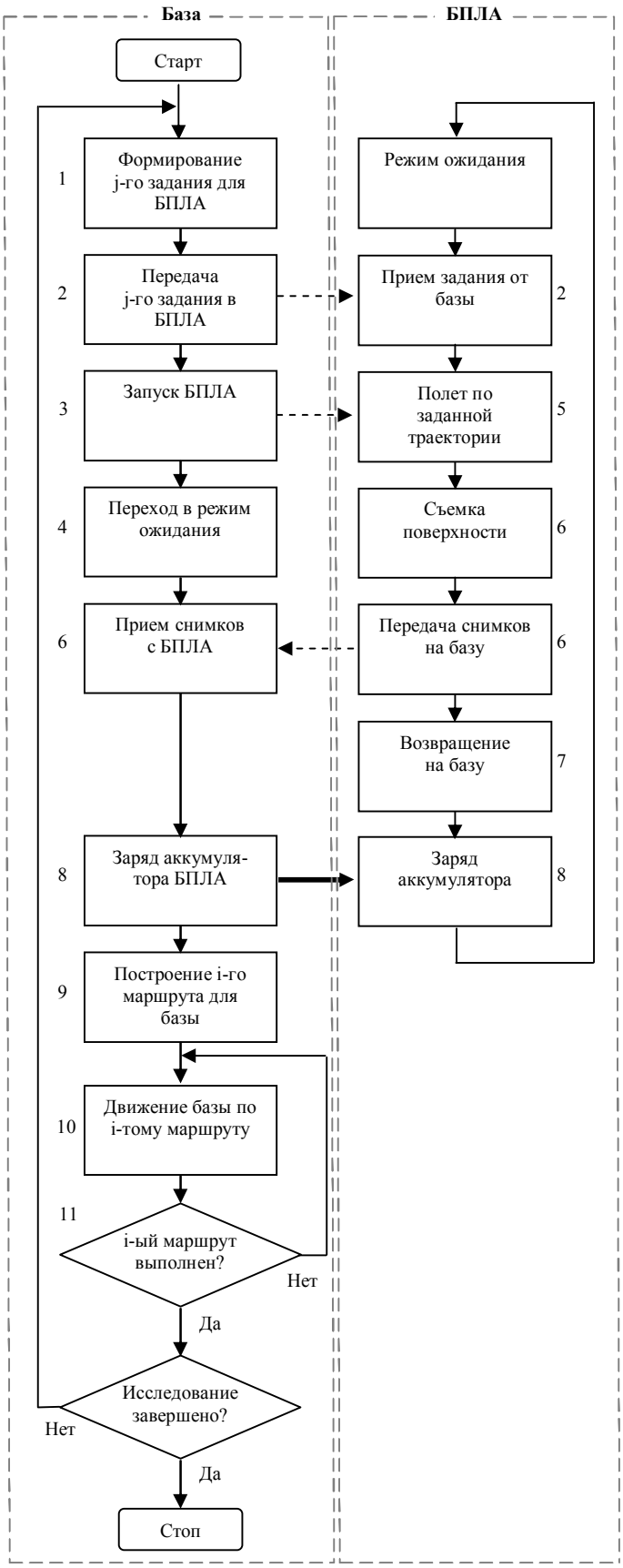



Рис. 1. Блок-схема алгоритма A.

Очевидно, что объем информации, получаемой для построения траектории движения робота (соответственно – площадь обследуемой БПЛА поверхности) ограничивается запасом энергии аккумулятора БПЛА.

При той же емкости аккумулятора БПЛА возможность увеличения объема получаемой информации предоставляет схема, в которой система управления полетом переносится на базу. Координаты БПЛА в пространстве определяются расположенной на базе системой видеолокации.

В соответствии с планом обследования окружающей среды и текущими координатами БПЛА система управления формирует и передает в БПЛА команды по корректировке маршрута. После выполнения БПЛА текущего j-го задания база управляет возвращением и посадкой БПЛА.

В такой схеме отпадает необходимость в размещения на борту БПЛА подсистемы локализации его в пространстве и положения относительно базы. При этом бортовой контроллер БПЛА освобождается от решения задач управления и занимается только стабилизацией полета. Наконец, снимки, которые делает БПЛА, можно накапливать в его запоминающем устройстве и передать на базу после посадки, а не в процессе полета. Это позволяет не устанавливать на борт БПЛА передатчик.

Распределение функций между базой и БПЛА в этой схеме и соответствующий расход энергии описывается следующим алгоритмом (Рис. 2).

### *В. Алгоритм Б*

Полетом БПЛА управляет база

1. После запуска робота бортовой компьютер базы формирует задание для БПЛА: (EBCPU=PBCPU·tBCPU).
2. База переходит в режим управления БПЛА, измеряет его координаты, формирует и передает БПЛА команды: (EBCPU+EBTr+=PBCPU·tBCPU+PBTr·tBTr).
3. БПЛА взлетает и принимает команды для полета по заданному маршруту: (EQFl+EQRec=PQFl·tBFl.+PQRec·tQRec).
4. В полете БПЛА делает k снимков поверхности и сохраняет их в бортовом запоминающем устройстве.
   - Для каждого снимка расходуется энергия на фотографирование EQSs1=PQSs ·tQSs . Всего в БПЛА будет расходовано энергии EQSsk=k(PQSs·tBSs).
5. После выполнения всех команд задания БПЛА возвращается на базу (необходимое количество энергии уже учтено в п.4).
6. БПЛА подключается к базе.
   - Собранная БПЛА информация передается в компьютер базы: (EQTr=PQTr·tQTr)+ (EBRec=PBRec·tBRec).
7. Происходит заряд аккумулятора БПЛА: (PBAc·tBAc).
8. Компьютер базы обрабатывает полученную информацию, строит маршрут движения базы и формирует новое задание для БПЛА: (PBCPU·tBCPU).
9. База движется по маршруту, построенному на основе полученной информации: (EBMot=PBMot·tBMot).
10. Если аккумулятор БПЛА полностью заряжен и база закончила движение по i-тому маршруту, начинается выполнение следующей итерации общего задания – переход к п.1.

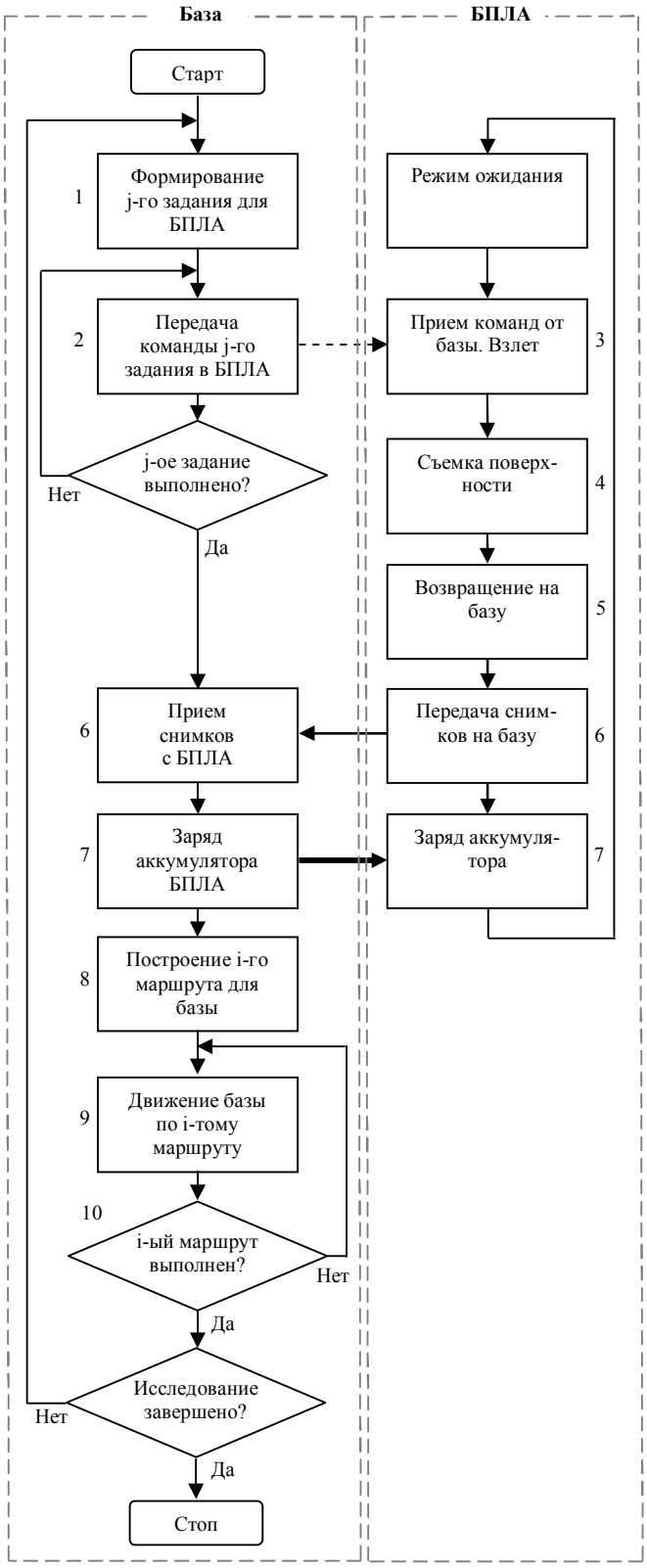



Рис. 2. Блок-схема алгоритма Б.

Далее выполняются те же операции, что и в предыдущей схеме. Необходимо заметить, что в обоих алгоритмах некоторые операции могут выполняться параллельно, например, обработка компьютером базы полученной информации и заряд аккумулятора.

Во второй схеме БПЛА меньше компонентов, следовательно, меньше размеры и масса, что позволит использовать менее мощные двигатели БПЛА. Уменьшение нагрузки на бортовой контроллер также способствует снижению потребляемой мощности. Суммарная экономия энергии обеспечивает возможность сбора информации с бо́льшей площади поверхности. При этом максимально допустимое расстояние между базой и БПЛА ограничивается мощностью передатчика базы, увеличение которой позволит при той же чувствительности приемника БПЛА расширить обследуемую область.

Возможны и иное распределение функций между базой и БПЛА, выбор реализуемой схемы определяется целью исследований и условиями среды, в которой должен функционировать робот. Кроме того, в процессе выполнения задания робот может принимать решение использовать видеосистему базы для обследования окружающей поверхности (и не запускать БПЛА) или для видеолокации и управления полетом БПЛА.

Задавшись коэффициентом k нерационального расхода общего энергетического ресурса робота E из-за неполноты информации об исследуемой поверхности, и рассчитав энергию, потребляемую компонентами базы и БПЛА в различных режимах работы, целесообразность и эффективность применения рассмотренных схем в конкретных условиях можно оценить из простого неравенства:

$$\mathrm{k} \cdot E > \sum_i \left(P_{\mathrm{B}}^{\mathrm{i}} \cdot \mathrm{t}_{\mathrm{B}}^{\mathrm{i}}\right) + \sum_j \left(P_{\mathrm{Q}}^{\mathrm{j}} \cdot \mathrm{t}_{\mathrm{Q}}^{\mathrm{j}}\right)$$

Следует также отметить, что при облете окружающей среды БПЛА собирает большой объем видеоинформации, недоступной для сенсоров базы, но которая может оказаться чрезвычайно интересной и полезной с точки зрения исследовательской.

В последующем на основе этой дополнительной, не связанной с выполнением текущей задачи информации, могут быть планироваться новые эксперименты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представляется, что автономные робототехнические комплексы, состоящие из мобильной платформы, передвигающейся по поверхности, и БПЛА, базирующегося на этой платформе, могут найти применение в геологоразведке, при исследовании труднодоступных или опасных районов, обследовании мест катастроф, при охране территорий, исследовании планет, в военной и многих других областях.

Одним из свидетельств перспективности описанной выше структуры робототехнического комплекса является информация о подготовке в НАСА исследований Титана (спутника Сатурна) с использованием в качестве БПЛА квадрокоптера и в качестве базы – посадочного модуля или аэростата [3]. Актуальность тематики исследований в данном направлении также подтверждается поддержкой РФФИ гранта на теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия гетерогенной группы роботов, состоящей из одного беспилотного наземного робота и БПЛА, совместно выполняющих поисково-спасательные задачи в заранее неизвестных условиях работы [4].

Самостоятельную практическую ценность может представлять система видеолокации малоразмерных летательных аппаратов, а также основанное на видеолокации автоматическое или автоматизированное управление воздушным движением подобных аппаратов, интенсивно внедряемых в различные сферы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

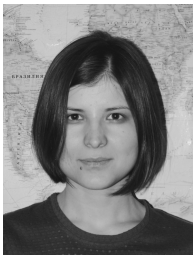

[1] Two Years of Visual Odometry on the Mars Exploration Rovers. Mark Maimone, Yang Cheng, and Larry Matthies. Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology. Pasadena, CA USA [Электронный ресурс] // NASA Portal: mobility and robotic systems. URL: https://www-robotics.jpl.nasa.gov/publications/Mark_Maimone/rob-06-0081.R4.pdf (дата обращения: 04.04.2016).

[2] Многофункциональные мобильные робототехнические комплексы легкого и сверхлегкого класса: Каталог продукции [Электронный ресурс] // Официальный сайт ОАО «Ковровский электромеханический завод». URL: http://www.kemz.org/ (дата обращения: 04.04.2016).

[3] NASA wants to use drones to explore Saturn's biggest moon [Электронный ресурс] // Qoqa.io. URL: http://www.qoqa.io/blogs/p/123138/nasa-wants-to-use-drones-to-explore-saturns-biggest-moon (дата обращения: 04.05.2015).

[4] Наземные и воздушные роботы смогут действовать сообща [Электронный ресурс] // PCWEEK: Идеи и практики автоматизации. URL: http://www.pcweek.ru/idea/article/detail.php?ID=178816 (дата обращения: 21.10.2015).

**Баран Ефим Давыдович**, старший преподаватель кафедры систем сбора и обработки данных Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: информационно-измерительные системы. Автор более 50 публикаций и 15 изобретений.



**Першина Жанна Сергеевна**, ассистент кафедры систем сбора и обработки данных Новосибирского государственного технического университета, аспирант кафедры мехатроники и робототроения (при ЦНИИ РТК) Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого. Область научных интересов: компьютерное зрение, робототехника. Автор 7 публикаций.

**Савицкая Наталья Андреевна**, инженер кафедры систем сбора и обработки данных Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: информационно-измерительные системы.