

УДК 629.052.4 + 621.373.826

Обзорная статья

<https://doi.org/10.32603/2071-8985-2023-16-9-38-48>**Док-станция для БПЛА: исследование построения автономной взлетно-посадочной платформы для беспилотных летательных аппаратов****Ж. Б. Нгуа Ндонг Авеле[✉], В. С. Горяинов**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

[✉] avelejacques@yahoo.fr

Аннотация. Рассмотрена задача повышения эффективности автономной работы дронов с использованием интеллектуальной док-станции для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которая усовершенствует зарядку и техническое обслуживание, уменьшая необходимость вмешательства человека в эти процессы. Были рассмотрены известные примеры конструкций автоматической системы подзарядки дронов. Разработана система автоматической посадки дронов на платформу, предложены концепции систем для автоматического позиционирования дрона после посадки и для беспроводной зарядки либо замены аккумулятора дрона.

Ключевые слова: док-станция, система позиционирования дронов, система подзарядки дронов, система посадки дронов

Для цитирования: Нгуа Ндонг Авеле Ж. Б., Горяинов В. С. Док-станция для БПЛА: исследование построения автономной взлетно-посадочной платформы для беспилотных летательных аппаратов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2023. Т. 16, № 9. С. 38–48. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-9-38-48.

Финансирование. Исследование проводилось в рамках проекта № FSEE-2020-0008, который выполнялся в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original article

UAV Docking Station: Study on Building an Autonomous Takeoff and Landing Platform for Unmanned Aerial Vehicles**J. B. Ngoua Ndong Avele[✉], V. S. Goryainov**

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

[✉] avelejacques@yahoo.fr

Abstract. Studies how to increase the efficiency of autonomous operation of drones using an intelligent docking station for unmanned aerial vehicles (UAVs), which improves charging and maintenance, reducing the need for human intervention in these processes. Known examples of designs for an automatic drone recharging system have been considered. The results present a system developed for automatic landing of drones on the platform and concepts for systems for automatically positioning the drone after landing and for wireless charging or replacing the drone battery.

Keywords: docking station, drone positioning system, drone recharging system, drone landing system

For citation: Ngoua Ndong Avele J. B., Goryainov V. S. UAV Docking Station: Study on Building an Autonomous Takeoff and Landing Platform for Unmanned Aerial Vehicles // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2023. Vol. 16, no. 9. P. 38–48. doi: 10.32603/2071-8985-2023-16-9-38-48.

Financing. The study was conducted within the framework of the FSEE-2020-0008 project, which was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Введение. Док-станция для дронов – это универсальная система, которая позволяет им безопасно приземляться, взлетать, перезаряжать или заменять батареи, а также передавать данные и полезную нагрузку. Некоторые док-станции даже способны хранить дроны, защищая их от неблагоприятных условий окружающей среды.

В последнее время разработка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – динамично развивающееся направление. Особый интерес представляют небольшие БПЛА мультироторного типа благодаря ряду присущих им особенностей и возможных областей применения.

Основным ограничением для широкого использования дронов остается продолжительность полета, которая определяется емкостью литий-полимерных батарей как наиболее часто используемого источника питания. Эту проблему можно решить, совершенствуя эффективность применяемых аккумуляторов, используя двигатели внутреннего сгорания или гибридные системы. Однако более перспективным решением кажутся док-станции, способные перезаряжать (или заменять) батареи, хранить дрон и даже поддерживать с ним связь. Основное назначение автономных взлетно-посадочных платформ – борьба с малым временем работы БПЛА коптерного типа – их основным недостатком. Зарядив или заменив батареи на посадочной станции, аппарат может продолжить выполнение задания. Также подобные платформы могут иметь и другие функции автоматического наземного обслуживания БПЛА – получение грузов, укрытие и хранение БПЛА, обмен данными.

Автономные взлетно-посадочные платформы для беспилотных летательных аппаратов используются для решения задач различного рода, в том числе для автоматической доставки продуктов, для военных задач, задач мониторинга в агропромышленном комплексе [1].

Постановка задачи. В ходе проведения исследования на основе анализа сведений о существующих решениях разрабатывались:

- система автоматической посадки дрона;
- концепция системы автоматического позиционирования дрона;
- концепция системы автоматической подзарядки дрона.

1. Анализ существующих конструкций док-станции для беспилотных летательных аппаратов. Конструкции док-станций, включают в себя несколько систем – посадочная платформа, механизм позиционирования, электроника, блок питания, визуальное средство приземления, система зарядки аккумулятора, система замены аккумулятора, система хранения дронов, система хранения полезной нагрузки и т. д. Док-станции можно классифицировать по ряду критериев:

- степени мобильности (мобильные и стационарные);
- используемому способу зарядки (два электрода, несколько электродов, беспроводная зарядка и т. д.);
- используемой системе позиционирования (активное и пассивное).

Автономная взлетно-посадочная платформа, в свою очередь, состоит из нескольких подсистем [2]:

- многоцелевая посадочная платформа: система посадки включает в себя метод управления БПЛА, обеспечивающий его правильную посадку, и устройство для фиксации его на месте. С первым требованием часто справляется сам дрон, но бывают случаи, когда это не так;

- система управления батареями: основной целью док-станций часто служит пополнение запаса энергии дрона. При наличии мощного источника питания эту задачу можно решить, используя метод зарядки либо же заменив батарею целиком;

- модуль настройки производительности: этот модуль помогает диагностировать проблемы в дроне, физически сканируя его и собирая отчеты об ошибках с микропроцессорной бортовой системы.

На рис. 1 показан алгоритм работы посадочной площадки, на рис. 2 – системы управления батареями, на рис. 3 – модуля оптимизации производительности.

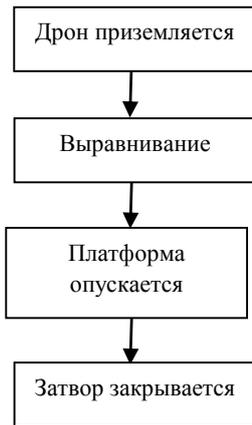


Рис. 1. Алгоритм работы посадочной площадки
Fig. 1. Landing site working algorithm

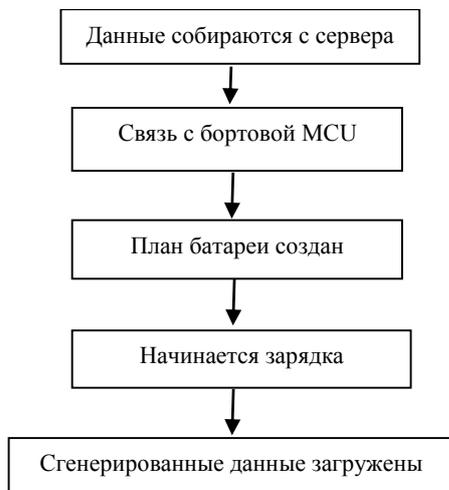


Рис. 2. Алгоритм работы системы управления батареями
Fig. 2. Battery Management System working algorithm

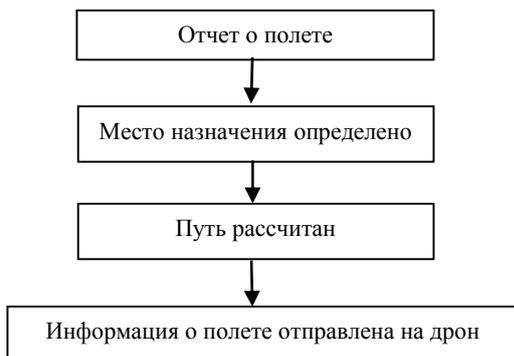


Рис. 3. Алгоритм работы модуля оптимизации производительности
Fig. 3. Performance optimization module working algorithm

2. Разработка системы автоматической посадки беспилотного летательного аппарата. В ходе исследования была предложена концепция лазерной системы для автоматического обнаружения посадочной платформы и разработана технология автоматической посадки дрона с использованием технического зрения.

2.1. Концепция лазерной системы обнаружения посадочной платформы. В области оптического обнаружения и идентификации дальность обнаружения в первую очередь ограничивается качеством получаемого изображения. Качество определяется типом используемого фотодетектора и его разрешающей способностью, параметрами оптической системы (фокусным расстоянием, углом обзора и другими), а также последующим сжатием полученного изображения. Дальность видимости в атмосфере также имеет большое значение. На рис. 4 показана логическая модель системы обнаружения посадочной платформы, основанная на алгоритме из статьи [3].

Рассматриваемые параметры лазерного луча
Considered parameters of the laser beam

Параметры источника лазерного луча	Полупроводники AlGaInP или AlGaAs
Длина волны	(0.63; 0.9) мкм
Интенсивность излучения	≤ 500 мВт
Радиус обнаружения	≥ 15 км
Угол расходимости	3.0 мрад (0.175°)

Предлагаемая система использует для наведения лазерный луч как источник информации о положении передатчика. Эта информация впоследствии оценивается на борту БПЛА. Направленный луч оптического излучения имеет ряд преимуществ перед излучением радиодиапазона, в частности обеспечивая большую скрытность и не создавая дополнительных помех. В таблице показаны рассматриваемые параметры лазерного луча [3].

2.2. Система автоматической посадки дрона с использованием технического зрения. После подтверждения дроном обнаружения посадочной платформы по лазерному лучу платформа должна автоматически открыться, и только после этого дрон должен приземлиться с использованием технического зрения. Когда активирован режим автоматической посадки, квадрокоптер, ориентируясь по данным GPS-навигации, движется к точке маршрута вблизи посадочной платформы и над ней. Затем запускается режим поиска цели для непрерывного захвата изображений. На рис. 5 показано проектное решение алгоритма автоматической посадки, основанное на алгоритме из [4].

Для поиска цели был использован метод обнаружения blob. В компьютерном зрении методы blob нацелены на обнаружение областей в цифровом изображении, которые отличаются по свойствам – яркости или цвету, от окружающих областей.

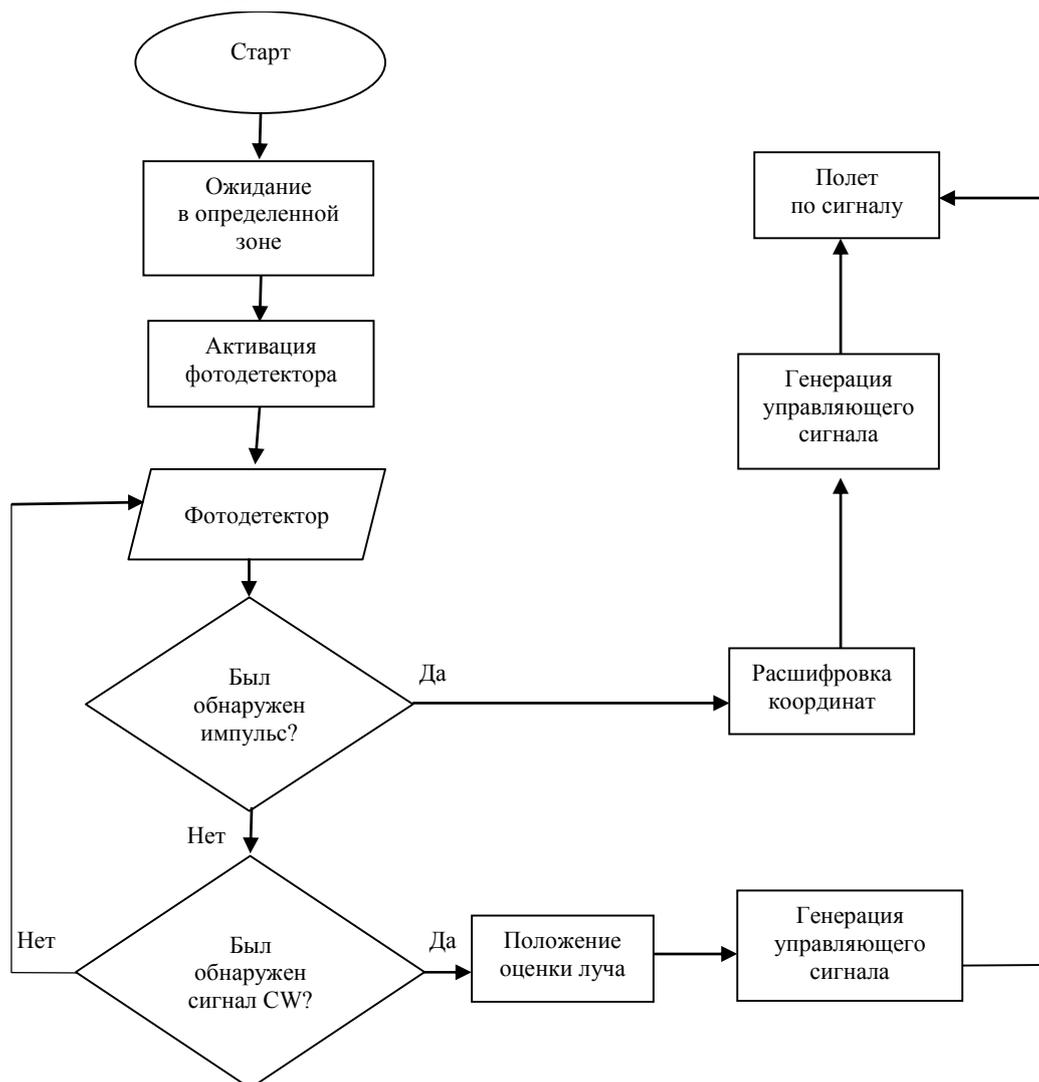


Рис. 4. Логическая модель наземной системы обнаружения посадочной платформы
 Fig. 4. Logical model of a ground system for landing platform detection

3. Разработка концепции системы автоматического позиционирования дрона. Посадочные платформы можно классифицировать по их конструктивным характеристикам, выделяя группы платформ:

- без устройств позиционирования;
- с активными устройствами позиционирования;
- с пассивными устройствами позиционирования;
- с комбинацией устройств позиционирования.

В ходе исследования была предложена концепция посадочной платформы с активными устройствами позиционирования (параллельные толкатели). В конструкцию толкателя входят шаговые двигатели и линейные направляющие. Толкатели в виде планок передвигают БПЛА в требуемую зону позиционирования. Наиболее часто в подобных конструкциях используются одна или

две пары параллельных друг другу и работающих синхронно толкателей, упирающихся в посадочные опоры БПЛА и сдвигающих его к центру посадочной площадки. Для эксперимента был использован дрон DJITELLO (внешний вид которого показан на рис. 6) и были смоделированы его место посадки и система удержания (рис. 7) при замене его аккумулятора.

Для программирования системы позиционирования дрона на основе микроконтроллера Arduino Mega использовалась библиотека Stepper, позволяющая управлять четырьмя шаговыми двигателями. Библиотека Stepper предоставляет удобный интерфейс управления биполярными и униполярными шаговыми двигателями. В программе применялась команда StepsPerRevolution. Для работы с шаговыми двигателями в библиотеке Stepper была задействована команда вида stepper.setSpeed (200). Затем, чтобы двигатель сделал один

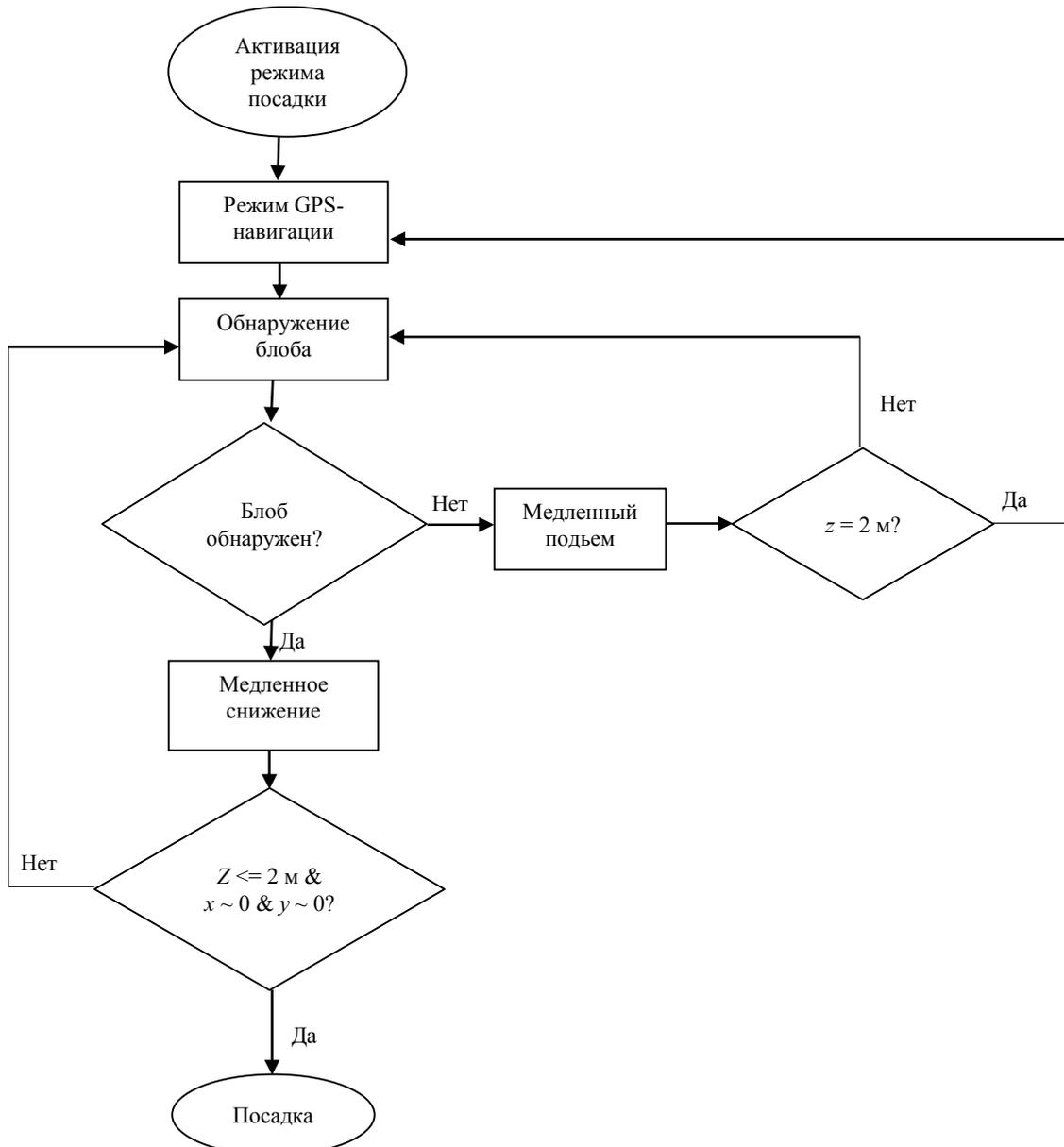


Рис. 5. Проектное решение алгоритма автоматической посадки
Fig. 5. Design solution for the automatic landing algorithm



Рис. 6. Дрон DJI RYZE TELLO: 1 – двигатель 1 (вращается против часовой стрелки); 2 – двигатель 2 (вращается по часовой стрелке); 3 – двигатель 3 (вращается против часовой стрелки); 4 – защита пропеллера; 5 – двигатель 4 (вращается по часовой стрелке)

Fig. 6. Drone DJI RYZE TELLO: 1 – engine 1 (rotates counterclockwise); 2 – engine 2 (rotates clockwise); 3 – engine 3 (rotates counterclockwise); 4 – propeller protection; 5 – engine 4 (rotates clockwise)

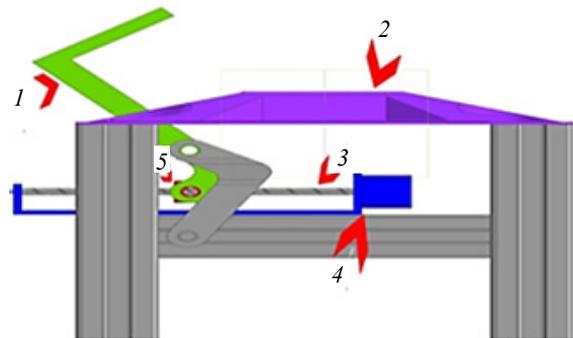


Рис. 7. Схема системы удержания дрона при замене аккумулятора: 1 – устройство удержания дрона; 2 – место посадки дрона; 3 – винт; 4 – мотор с линейной направляющей; 5 – гайка
Fig. 7. The mechanism of the drone holding system when replacing the battery: 1 – drone holding device; 2 – drone landing site; 3 – propeller; 4 – engine with linear guide; 5 – screwnut

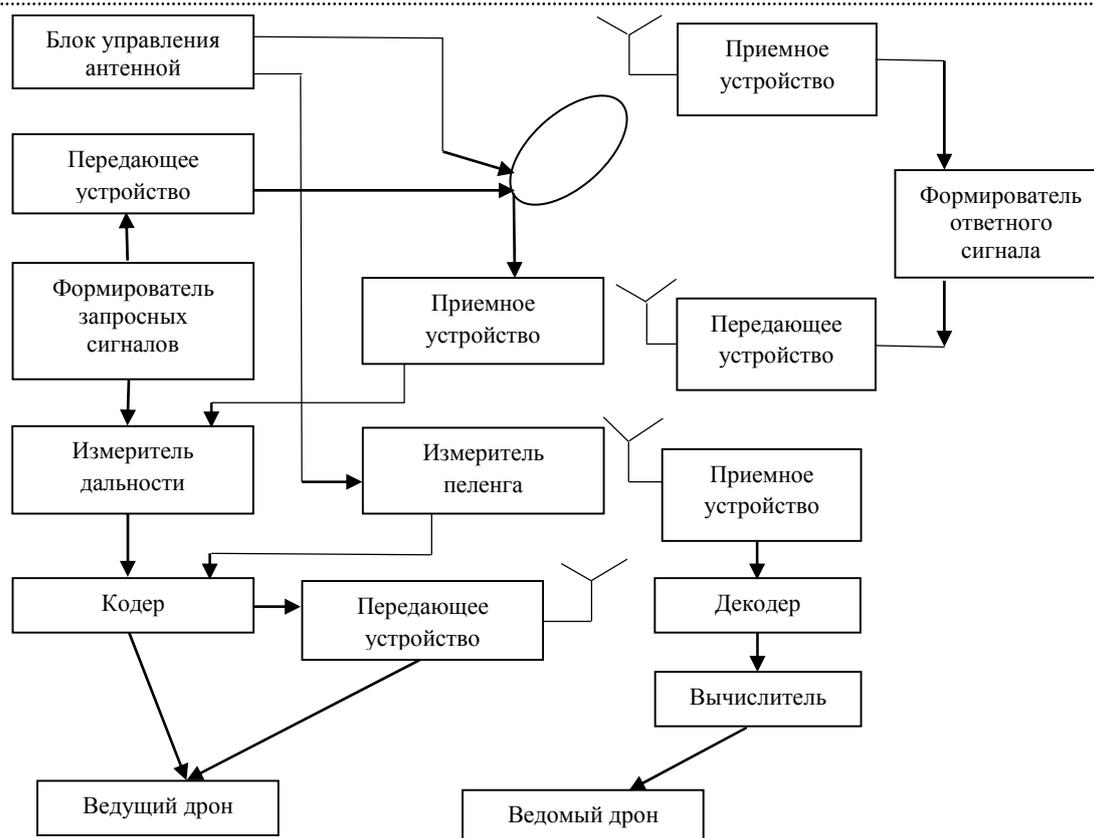


Рис. 8. Блок-схема взаимодействия между дронами
 Fig. 8. Block diagram of drones interaction

шаг, можно использовать команду `stepper.step(val)`. Количество шагов, которое должен сделать двигатель, определяется переменной «`val`». Поскольку на один оборот приходится 32 шага и передаточное число 64, должны быть сделано 2048 ($32 \times 64 = 2048$) шагов в этой команде для совершения одного полного оборота двигателя. Соответственно, чтобы шаговый двигатель сделал один шаг по часовой стрелке, необходимо использовать команду `stepper.step(1)`.

Разрабатываемая платформа предназначена для одновременного использования от одного до трех дронов (роя дронов). Рой дронов, также называемый флотом дронов, представляет собой скоординированный набор дронов (воздушных, наземных, подземных или морских), выполняющих общую задачу в различных типах приложений, гражданских или военных. Для эффективного управления роем и контроля взаимодействия между отдельными дронами необходимо решить две ключевые проблемы [5]:

1. Навигация и планирование путей для каждого дрона при недостатке информации об окружающем пространстве. В постоянно изменяющемся окружении помимо неподвижных препятствий присутствуют другие дроны из роя, столкновения с которыми необходимо избегать [6].

2. Создание мультикоптерами воздушных потоков, которые необходимо учитывать при близком движении дронов, чтобы те не сдували друг друга с траектории [6].

На рис. 8 показана возможная блок-схема взаимодействия между дронами, рассчитанная на решение этих проблем [6].

4. Разработка концепции системы приема-передачи энергии для подзарядки дронов в автономной взлетно-посадочной платформе.

4.1. Передача энергии. Основная цель док-станций часто состоит в том, чтобы пополнить запас энергии дрона. Эту задачу можно решить, используя метод зарядки или заменив батарею целиком. Док-станции чаще всего оснащены возможностью зарядки аккумулятора через электрические контакты, обычно расположенные на шасси дрона. Однако существуют методы, в которых используются системы беспроводной зарядки.

Беспроводная зарядка использует принцип электромагнитной индукции. Впервые это явление было описано в 1831 г. Майклом Фарадеем, который обнаружил, что если источник магнитного поля перемещать через катушку, в ней появится электрический ток. Беспроводная зарядка (БЗ) применима для самых разнообразных устройств –

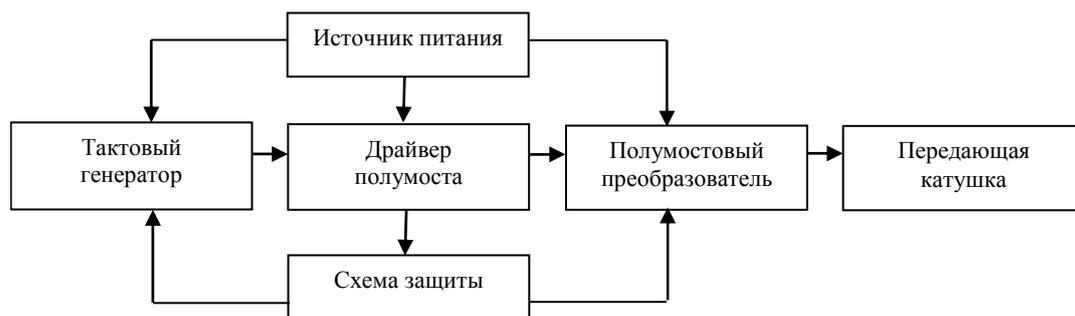


Рис. 9. Блок-схема передатчика энергии
Fig. 9. Power transmitter block diagram



Рис. 10. Схема приемника энергии
Fig. 10. Energy receiver block diagram

от маломощной электрической зубной щетки до электромобилей, и обладает несомненным преимуществом в удобстве использования. Концепция разрабатываемой системы подзарядки БПЛА должна обеспечивать передачу энергии из хранилища посадочной платформы в батареи дрона. Блок-схема передатчика энергии показана на рис. 9, а блок-схема приемника энергии – на рис. 10.

Для получения сведений об уровне заряда и техническом состоянии дрона в систему управления автономной посадочной платформой могут входить датчики, действующие автономно. Для обеспечения возможности подключения датчиков и исполнительных устройств к одному микроконтроллеру возможно применение микроконтроллерной платы ArduinoMEGA 2560, имеющей достаточное количество выводов. Через шину I2C микроконтроллерная плата соединяется с модулем ESP8266 (NodeMCU) для подключения к Wi-Fi. Модуль приемопередатчика NodeMCU с помощью Arduino отправляет сообщения для сбора данных на хост-платформе InternetofThings (IoT).

Платформа активируется с помощью шагового двигателя, подключенного к Arduino. Пара ультразвуковых датчиков SR04 улавливает силуэт дрона, обеспечивая дополнительный уровень безопасности. Как только напряжение батареи достигает удовлетворительного уровня, Arduino запускает мощное реле, отключающее сетевое напряжение от катушек передатчика.

4.2. Система хранения и обмена данными.

Основная функция системы хранения – хранить и защищать дрон или полезную нагрузку. Различные решения для док-станций имеют разные системы хранения. Сам дрон можно содержать в док-станции, а в некоторых случаях там же необходимо хранить какую-то полезную нагрузку, которую дрон может перевозить. Системы хранения могут также включать в себя механизмы загрузки и выгрузки полезной нагрузки.

Иногда БПЛА должен иметь возможность связываться с наземной станцией между несколькими полетами. Некоторые решения предлагают возможность стыковки БПЛА со станцией и подключения к наземной станции, используемой для управления полетами БПЛА. Систему можно использовать для назначения новых планов полета воздушному судну или для загрузки журналов предыдущего полета и передачи их в другое место хранения.

4.3. Разработка концепции механизма захвата для замены аккумулятора дрона.

Для разработки концепции системы замены аккумуляторов использовалась модель квадрокоптера DJI TELLO массой 80 г. без полезной нагрузки и размерами 98 × 92.5 × 41 мм. В систему замены аккумуляторов входят роботизированный захват и устройство с электроприводом для перемещения захвата. Было определено, что автоматический механизм захвата должен действовать аналогично движениям человеческой руки при замене батареи. Для достижения оптимального захвата бата-

реи в системе требуется двусторонний захват, так как сначала он отсоединяет батарею, а затем вынимает ее из батарейного отсека. Та же операция может быть использована для установки батареи в батарейный отсек [7].

В этой системе доступное на рынке зарядное устройство для дрона можно использовать для процесса зарядки разряженной батареи (рис. 11).

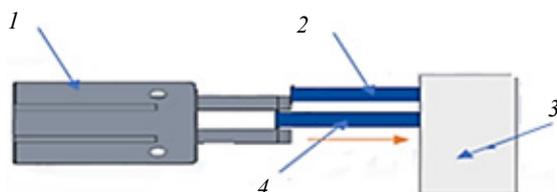


Рис. 11. Зарядное устройство для дрона:

1 – захват; 2 – разряженный первый аккумулятор;
3 – зарядное устройство; 4 – разряженный
второй аккумулятор

Fig. 11. Drone Charger: 1 – grip; 2 – depleted first
battery; 3 – battery charger; 4 – depleted second battery

5. Результаты и обсуждение. Техника управления посадкой дрона с обратной связью и использованием компьютерного зрения называется визуальным сопровождением. Для автоматической посадки использовалось специальное изображение для распознавания дроном посадочной платформы (рис. 12). В этом случае предпочтительнее косвенное визуальное сопровождение, поскольку визуальная информация используется и получается во внешнем цикле, что позволяет применять более низкую частоту дискретизации для визуального управления. Более подробная архитектура управления, разработанная для достижения цели исследования, показана на рис. 13. Она состоит из двух вложенных в конструкцию контуров управления, внутреннего и внешнего контуров. Внутренние контуры управления в архитектуре управления содержат контуры управления ориентацией и угловой скоростью. Внешний вычисляет заданные значения угловой скорости на основе ошибок расчетных положений и заданных значений положений. Отношения оцениваются на основе слияния измерений гироскопа и акселерометра. Это объединение инерциальных датчиков применяется для коррекции погрешностей во время инициализации полета.

Далее представлена главная часть листинга кода на языке Python с использованием библиотеки OpenCV для автоматической посадки дрона с распознаванием изображения:



Рис. 12. Автоматическая посадка дрона с распознаванием изображения
Fig. 12. Automatic drone landing with image recognition

```
w, h = 360, 240
fbRange = [6200, 6000]
pid = [0.4, 0.4, 0]
pError = 0
def findface(image):
    faceCascade =
cv2.CascadeClassifier("Jack.jpeg")
    imageGray = cv2.cvtColor(image,
cv2.COLOR_BGR2GRAY)
    face = faceCas-
cade.detectMultiScale(imageGray, 1.2, 8)
    myFaceListC = []
    myFaceListArea = []
    for (x, y, w, h) in face:
        cv2.rectangle(image, (x, y), (x + w, y + h), (0, 0,
255), 2)
        cx = x + w // 2
        cy = y + h // 2
        area = w * h
        cv2.circle(image, (cx, cy), 5, (0, 255, 0),
cv2.FILLED)
        myFaceListC.append([cx, cy])
        myFaceListArea.append([area])
    if len(myFaceListArea) != 0:
        A = my-
FaceListArea.index(max(myFaceListArea))
        return image, [myFaceList[A], my-
FaceListArea[A]]
    else:
        return image, ([0, 0], 0)
def trackFace(tello, info, w, pid, pError):
    distance = info[1]
    x, y = info_[0]
    error = x - w // 2
    speed = pid[0] + error + pid[1] + (error - pError)
    speed = int((np.clip(speed, -100, 100)))
    if distance > fbRange[0] and distance <
fbRange[1]:
        fb = 0
```

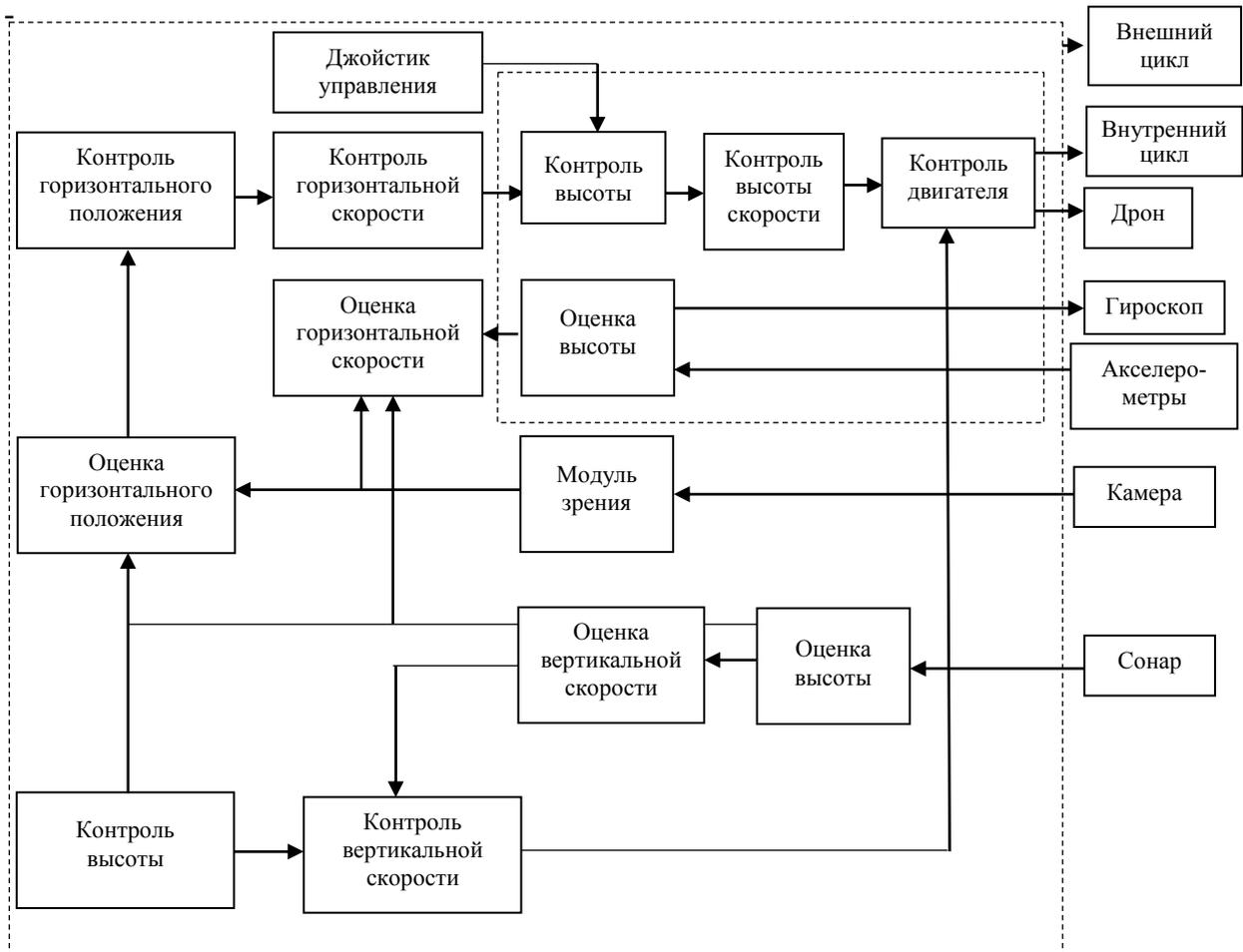


Рис. 13. Архитектура управления для автономной системы посадки
Fig. 13. Control architecture for an autonomous landing system

```

elif distance < fbRange[0]:
    fb = 10
if x == 0:
    speed = 0
    error = 0
    T.send_rc_control(0, fb, 0, speed)
    return
while True:
    -, frame = cap.read()
    hsv_frame = cv2.cvtColor(frame,
cv2.COLOR_BGR2HSV)
    low_red = np.array([105, 150, 150])
    high_red = np.array([255, 0, 0])
    red_mask = cv2.inRange(hsv_frame,
low_blue, high_blue)
    red = cv2.bitwise_and(frame, frame, mask =
red_mask)
    cv2.imshow("frame", frame)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('g'):
        T.land(),

```

где x и y – координаты места посадки дрона; w – ширина; h – высота.

В результате моделирования системы замены аккумулятора дрона была предложена концепция применения захвата, позволяющего удерживать объекты и манипулировать ими. Механизм захвата аккумуляторов играет важную роль в системе, поскольку это – обязательный элемент для загрузки и разгрузки аккумуляторов дронов. Кроме того, для изменения ориентации батареи дрона необходим дополнительный механизм захвата. Поэтому для выполнения задачи будет использоваться другой отсек того же захвата. Применяемый здесь захват будет разработан в соответствии с размером батареи, используемой в дроне. Общая система зарядки состоит из двухзарядных блоков: один – для хранения разряженных аккумуляторов, а другой – для заряженных аккумуляторов.

Заключение. В процессе работы проведен анализ построения док-станции для беспилотных летательных аппаратов; предложена концепция системы приема-передачи энергии для подзарядки дронов в составе автономной взлетно-посадочной платформы; разработана система ав-

томатической посадки беспилотного летательного аппарата на посадочной платформе.

За последние 10 лет проводились различные исследования способов повышения точности посадки БПЛА, в особенности алгоритмов посадки. Однако эта область исследований может стать основным направлением исследований и дальнейшего развития систем посадки. Когда БПЛА приземляется на посадочную платформу, его можно более точно позиционировать с помощью

активного позиционирования посредством толкателей. Чем точнее приземляется БПЛА с помощью алгоритмов зрения и посадки, тем меньше толкателей и других устройств нужно для работы. Таким образом, необходимы разработки и исследования алгоритмов посадки, которые позволили бы лучше использовать возможности позиционирования БПЛА, а не полагаться на механические решения для позиционирования.

Список литературы

1. Gazzai H., Menuard H., Kadri A. On the placement of UAV docking stations for future intelligent transport systems // Proc. of the 2017 IEEE 85th Automotive Conf. (VTC Spring). Sydney, Australia, 2017. P. 1–6.

2. Autonomous battery replacement for UAVs with a mobile ground base / E. Barrett, M. Reiling, S. Mirhasani, R. Meiering, J. Jaeger, N. Mimmo, F. Callegati, L. Marconi, R. Carloni, S. Stramigioli // Proc. of the 2018 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation (ICRA). Brisbane, Australia, 2018. P. 699–705.

3. Sary V., Krivanek V., Stefek A. Optical detection methods for laser guided unmanned devices // J. of Communications and Networks. 2018. P. 466–467. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8533582> (дата обращения 05.05.2023).

4. Ho H. V., Chu K. P. Automatic landing system of a Quadrotor UAV Using Visual Servoing // Proc. of Euro GNC 2013, 2nd CEAS Special Conf. on Steering, Navigation and Control. Delft, The Netherlands: Delft University

of Technology, 2013. P. 1266. URL: <https://aerospace-europe.eu/media/books/delft-0046.pdf> (дата обращения 05.05.2023).

5. Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends / D. Linglong, W. Bichai, Y. Yifei, H. Shuangfeng, I. Chih-Lin, W. Zhaocheng // IEEE Communications Magazine. 2015. Vol. 53, no. 9. P. 74–81.

6. Синхронизация и многостанционный доступ в локальных радиотехнических системах относительной навигации // В. К. Орлов, Н. Е. Липаков, В. С. Рамаданов, Е. Г. Шанин. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 122 с.

7. Inverted docking station: a conceptual design for a battery-swapping platform for quadrotor UAVs / C. S. Sudam, P. Maroay, R. Suchada, R. Photchara // Conceptual Design, Modeling and Control Strategies of Drones. 2022, no. 6 (3). P. 18–20. doi: 10.3390/drones6030056.

Информация об авторах

Нгуа Ндонг Авеле Жак Бернис – магистрант кафедры фотоники по специальности квантовой и оптической электроники в СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Обладатель степени бакалавра по мехатронике и робототехнике в Тамбовском государственном техническом университете, Россия.
E-mail: avelejacques@yahoo.fr

Горяинов Виктор Сергеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры фотоники СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
E-mail: vsgoriainov@etu.ru
<http://orcid.org/0000-0003-2864-8717>

References

1. Gazzai H., Menuard H., Kadri A. On the placement of UAV docking stations for future intelligent transport systems // Proc. of the 2017 IEEE 85th Automotive Conf. (VTC Spring). Sydney, Australia, 2017. P. 1–6.

2. Autonomous battery replacement for UAVs with a mobile ground base / E. Barrett, M. Reiling, S. Mirhasani, R. Meiering, J. Jaeger, N. Mimmo, F. Callegati, L. Marconi, R. Carloni, S. Stramigioli // Proc. of the 2018 IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation (ICRA). Brisbane, Australia, 2018. P. 699–705.

3. Sary V., Krivanek V., Stefek A. Optical detection methods for laser guided unmanned devices // J. of Communications and Networks. 2018. P. 466–467. URL:

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&number=8533582> (data obraschenija 05.05.2023).

4. Ho H. V., Chu K. P. Automatic landing system of a Quadrotor UAV Using Visual Servoing. // In Proc. of Euro GNC 2013, 2nd CEAS Special Conf. on Steering, Navigation and Control. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology, 2013. P. 1266. URL: <https://aerospace-europe.eu/media/books/delft-0046.pdf> data obraschenija 05.05.2023.

5. Non-orthogonal multiple access for 5G: solutions, challenges, opportunities, and future research trends / D. Linglong, W. Bichai, Y. Yifei, H. Shuangfeng, I. Chih-Lin,

W. Zhaocheng // IEEE Communications Magazine. 2015. Vol. 53, no. 9. P. 74–81.

6. Синхронизация и многостанционный доступ в локальных радиотехнических системах относительно навигации // В. К. Орлов, Н. Е. Липakov, В. С. Ramadanov, Е. Г. Шанин. СПб.: Изд-во SPbGJeTU «ЛJeTI», 2016. 122 с. (In Russ.).

7. Inverted docking station: a conceptual design for a battery-swapping platform for quadrotor UAVs / C. S. Sudam, P. Maroay, R. Suchada, R. Photchara // Conceptual Design, Modeling and Control Strategies of Drones. 2022, no. 6 (3). P. 18–20. doi: 10.3390/drones6030056.

Information about the authors

Jacques Bernice Ngoua Ndong Avelé – master student of the Department of Photonics of Saint Petersburg Electrotechnical University, specializing in quantum and optical electronics. He holds a bachelor's degree in mechatronics and robotics from Tambov State Technical University, Russia.

E-mail: avelejacques@yahoo.fr

Viktor S. Goryainov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Photonics of Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: vsgoriainov@etu.ru

<http://orcid.org/0000-0003-2864-8717>

Статья поступила в редакцию 11.05.2023; принята к публикации после рецензирования 30.08.2023; опубликована онлайн 23.11.2023.

Submitted 11.05.2023; accepted 30.08.2023; published online 23.11.2023.
