



МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПОЛЕТНЫХ МИССИЙ

А. А. Горелова, А. С. Костин

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье предложена методика обеспечения безопасности перевозочного процесса, выполняемого с применением беспилотной авиационной системы, - световое и звуковое сопровождение этапов полета, а также сигнализирование о возникновении ошибок в процессе полета. Разработанный метод индикации призван обеспечить осведомленность находящихся под воздушным судном на маршруте его полета людей о взлете, совершении безошибочного полета и посадке, предупредить об опасности нахождения под дроном в аварийных ситуациях.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, беспилотные воздушные суда, страховочные системы, системы сигнализации, безопасность полетов малых БВС, звуковое оповещение, световое оповещение.

Для цитирования:

Горелова А. А., Костин А. С. Методы повышения безопасности эксплуатации беспилотных авиационных систем в городской среде при выполнении полетных миссий // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №2 (32), ISSN 2077-5687. – СПб.: ГУАП., 2022 – с 105–112. РИНЦ. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-2-105-112.

METHODS FOR INCREASING THE SAFETY OF OPERATION OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN THE URBAN ENVIRONMENT WHEN PERFORMING FLIGHT MISSIONS

A. A. Gorelova, A. S. Kostin

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The article proposes a methodology for ensuring the safety of the transportation process performed using an unmanned aircraft system - light and sound accompaniment of the flight stages, as well as signaling of errors during the flight. The development is designed to ensure that people who are under the aircraft on the route of its flight are aware of take-off, making an error-free flight and landing, and warn about the danger of being under the drone in emergency situations.

Keywords: unmanned aerial systems, unmanned aerial vehicles, safety systems, signaling systems, flight safety of small UAVs, sound warning, light warning.

For citation:

Gorelova A. A., Kostin A. S. Methods for increasing the safety of operation of unmanned aircraft systems in the urban environment when performing flight missions // Systems analysis and logistics: №2 (32), ISSN 2077-5687. – Russia, SaintPetersburg.: SUAI., 2022 – p. 105–112. DOI: 10.31799/2077-5687-2022-2-105-112.

Введение

Сегодня транспортные системы городов находятся в непрерывном развитии и модернизации. Увеличение численности транспортных средств, численности населения городов, рост инфраструктуры городов, внедрение новых высокоскоростных беспроводных сетей, вынуждает и создает условия для внедрения качественно новых решений. Особый интерес сегодня вызывают решения на основе новых беспилотных технологий.

Грузовые перевозки представляют собой одну из основных отраслей экономики каждого города. Однако использование грузового наземного транспорта в городах создает дополнительный трафик на дорогах и значительно уменьшает возможную скорость доставки. Кроме того, использование большого количества автомобилей влияет на экологию, а затраты на топливо и оплата человеческого труда составляют большую часть от затрат производителя и влияют на стоимость перевозимого груза в коммерческих перевозках.

Беспилотные воздушные суда – перспективный вид транспорта, который в будущем может помочь решить проблему загруженности дорог грузовым транспортом. Доставка



небольших грузов по воздуху может осуществляться в разы быстрее, а стоимость самой перевозки на практике оказывается в разы меньше. Беспилотники уже довольно долгое время применяются в разных отраслях энергетики, сельского хозяйства и др., и показали свою эффективность, точность и экономическую выгоду по сравнению с другими устройствами. Они помогают также исключить человеческий фактор из производственного процесса.

Однако в данный момент существует множество нерешенных вопросов со стороны технического оснащения. Несовершенство программ управления беспилотными авиационными системами, отсутствие страховочных систем и надлежащей инфраструктуры для контроля их использования делают сложным интегрирование беспилотных воздушных судов в единую транспортную систему.

В данной статье описана разработка системы оповещения об ошибках, созданная на базе Лаборатории беспилотных авиационных систем ИШ ГУАП, призванная повысить безопасность грузовых воздушных перевозок малыми беспилотными воздушными судами путем светового и звукового сопровождения процесса полета и сигнализирования в случае возникновения проблем.

1. Методы привлечения внимания

В первую очередь, опасность беспилотник представляет для человека, находящегося на земле, так как при падении существует опасность причинение вреда его здоровью. Для информирования о взлете, перемещении, посадке, а также об аварийной ситуации мы можем использовать световые и звуковые сигналы.

Звуковой сигнал пьезодинамика призван обращать внимание находящихся на земле людей на беспилотное воздушное судно (далее – БВС), совершающее летную задачу.

Видимый световой сигнал, дополненный также сменой цветов в зависимости от выполняемой на данном этапе задачи, поможет человеку с земли идентифицировать БС и находиться на безопасном расстоянии (если речь идет о посадке и взлете) или вовремя среагировать, если аппарату понадобится экстренная посадка.

Еще одним способом оповещения, применяемым у охранных БВС, является использование прожектора. В темное время суток аппарат становится менее заметным и представляет большую опасность. Луч света, направленный вниз при посадке, поможет обезопасить пространство и предупредить находящихся на земле людей.

Реализация звукового и светового сопровождения была выполнена на базе Лаборатории беспилотных авиационных систем (далее – БАС) ГУАП с использованием квадрокоптера Clover 4 компании «Copter Express».

Лаборатория беспилотных авиационных систем ГУАП состоит из двух исследовательских частей. В первой осуществляется разработка и проектирование дронов, их отдельных частей и приспособлений для совершения полетов. Вторая же создана для осуществления полета, отладки и моделирования полетных режимов. Таким образом, в стенах одной лаборатории проходит полный цикл от проектирования, разработки и создания до фактической реализации, тестирования и модернизации.

2. Описание выбранной беспилотной авиационной системы

В совершении тестового полета для реализации программы аварийной сигнализации при обнаружении ошибок при перемещении по заданному маршруту мы использовали квадрокоптер компании Copter Express – Clover 4 [5].

Он представляет собой учебный конструктор программируемого квадрокоптера, включающий в себя полетный контроллер COEX Pix с полетным стеклом PX4, Raspberry Pi 4 – управляющий бортовой компьютер [5], модуль камеры для реализации полетов с использованием компьютерного зрения, а также набор различных датчиков и другой периферии. Выбор обусловлен наличием данного аппарата в Лаборатории БАС ГУАП и возможностью запрограммировать его для совершения автономного полета.



Рис.1. Квадрокоптер Clover компании Copter Express

Для проводимого эксперимента нам понадобилось установить на БАС адресуемую RGB-светодиодную ленту типа ws281x и пьезодинамик (рис.2).

В процессе полета на светодиодную ленту будет выводиться определенный цвет в зависимости от состояния систем квадрокоптера и будет издаваться звуковой сигнал.

Плата для извлечения звукового сигнала состоит из:

- а) Пьезодинамика,
- б) Транзистора,
- в) Резисторов,
- г) Разъемов для подключения:
 - 1) «+» (5В),
 - 2) Сигнальный провод,
 - 3) «-» («земля»).



Рис.2. Модуль активного пьезодинамика

Провода «+» и «-» подключаются к плате распределения питания, сигнальный провод был подключен в GPIO колодку Raspberry Pi в 18 пин.

3. Лабораторные испытания

Лабораторные испытания данной разработки проходили в летном поле лаборатории. Ориентирование БВС осуществлялось по ArUco-маркерам [5,6], так как в здании оказалось невозможным производить ориентирование по GPS ввиду отсутствия сигнала.

Перемещение квадрокоптера осуществляется по маршруту, представленному на рисунке 3.

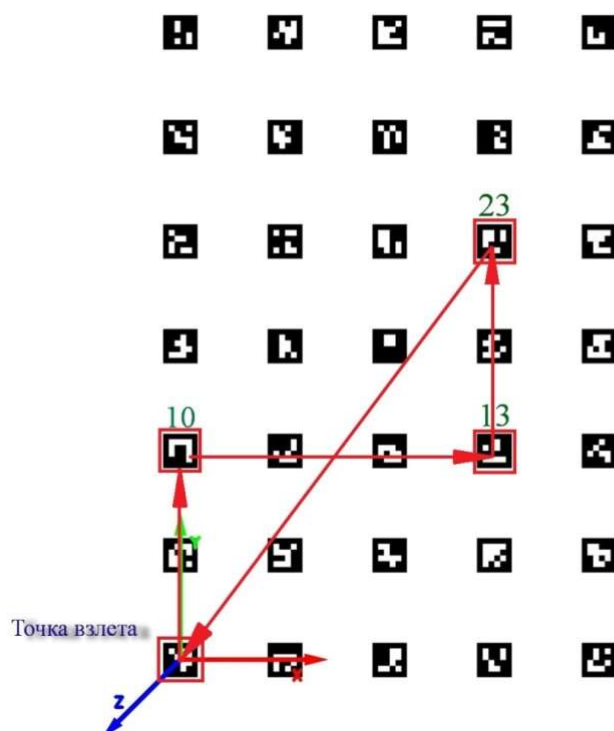


Рис.3. Схема автономного полета

В ходе лабораторного испытания квадрокоптер совершает взлет [5,7], при этом выводя на светодиодную ленту мигающий сигнал синего цвета и издавая постоянный звуковой сигнал до окончания взлета (Рисунок 4).



Рис.4. Этап 1 - взлет

Пример кода, управляющего процессом взлета:

```
navigate(x=0, y=0, z=1.5, frame_id='body', auto_arm=True) # функция взлета квадрокоптера
rospy.sleep(4)
```




Пример кода, управляющего сигнализацией в процессе взлета:

```
def takeoff_tone():  
    global check  
    while not check:  
        pi.write(18, 0) # функция непрерывного однотонного звучания пьезодинамика  
        set_effect(effect='blink', r=0, g=0, b=255) # функция светового сигнализирования  
        синим цветом  
        rospy.sleep(0.75)  
        pi.write(18, 1) # выключение непрерывного однотонного звучания пьезодинамика
```

Для тестирования автономного полета создан маршрут из 3-х ключевых точек полета. Квадрокоптер совершает перемещение по всем заданным точкам, выполняя зеленую мигающую индикацию и короткие звуковые сигналы – полет идет нормально (Рисунок 5).



Рис.5. Этап 2 – полет по заданному маршруту

Пример кода, управляющего полетом по заданным координатам:

```
points1 = ('10','13','23')  
for i in range(len(points1)):  
    navigate_wait(frame_id='aruco_'+points1[i]) # функция перемещения по заданному маршруту
```

Пример кода, управляющего звуковой и световой сигнализацией в процессе полета:

```
def flight_tone():  
    global check1  
    while not check1:  
        pi.write(18, 0) # функция коротких звуковых сигналов  
        set_effect(effect='blink', r=0, g=255, b=0) # функция мигания зеленым цветом  
        rospy.sleep(0.25)  
        pi.write(18, 1)  
        rospy.sleep(0.75)  
        pi.write(18, 1)
```

В процессе полета программа выполняет имитацию ошибки. При обнаружении ошибки на светодиодную ленту был выведен красный блик и запущена программа возвращения на «точку дома».



Пример кода, управляющего имитацией ошибки и звуковой и световой сигнализацией при обнаружении ошибки:

```
def error_tone():
    global check2
    while not check2:
        pi.write(18, 1)
        txt = input("Simulate an error? ") # запуск симуляции ошибки
        if txt == 'y':
            err = int(input("How many iterations? ")) # функция, с помощью которой задается
            количество ошибок для имитации
            for i in range(err):
                pi.write(18, 0) # имитация звукового сигнала «сирена»
                set_effect(effect='flash', r=255, g=0, b=0) # световая сигнализация при аварийной
                ситуации
                rospy.sleep(1)
                pi.set_servo_pulsewidth(18, 500)
                rospy.sleep(1)
            else:
                pi.write(18, 1)
                print('go home')
                check2 = True
```

В процессе полета на исходную точку квадрокоптер издает звуковой сигнал «сирена» - использует попеременно меняющиеся частоты звучания. Световая индикация – быстрое мигание красным цветом 2 раза и возвращение к предыдущему эффекту (Рисунок 5).



Рис.5. Этап 4 – процесс полета квадрокоптера на исходную позицию

Звуковое оповещение «сирена» достигается сменой частот пьезодинамика. Пример кода, управляющего звуковой и световой индикацией в процессе полета на исходную точку:

```
def go_home():
    global check3
    while not check3:
        pi.write(18, 0)
        set_effect(effect='flash', r=255, g=0, b=0) # световая сигнализация при полете на
        исходную позицию
        rospy.sleep(0.5)
        pi.set_servo_pulsewidth(18, 500)
        pi.write(18, 1)
```



По достижении «точки дома» осуществляется посадка с синей мигающей индикацией и непрерывным однотонным звучанием пьезодинамика (Рисунок 6).



Рис.6. Этап 5 – выполнение посадки

Посадка квадрокоптера управляется функцией `land()`.

Пример кода, управляющего звуковой и световой индикацией при посадке:

```
def land_tone():  
    global check4  
    while not check4:  
        pi.write(18, 0) # непрерывное звучание пьезодинамика  
        set_effect(effect='blink', r=0, g=0, b=255) # синяя индикация при посадке  
        rospy.sleep(0.5)  
        pi.write(18, 1)
```

Заключение

Безопасность перевозочного процесса – один из важнейших факторов для осуществления доставки груза. Система оповещения о состоянии БАС, представленная в данной статье, может стать компонентом страховочной системы реагирования на аварийные ситуации, происходящие во время полета, и обеспечить сохранность БВС и перевозимого груза в случае ошибок, а также предупредить как оператора БАС, так и находящихся под ним людей об этапах полета и наличии внештатных ситуаций.

В ходе лабораторных испытаний в лаборатории беспилотных авиационных систем ГУАП БВС совершило автономный полет по заданным ключевым точкам полета оператором с имитированием возникновения ошибки и возврат в начальную точку взлета, выполнив всю предусмотренную индикацию. Сигналы были различимы и привлекали внимание к БВС, из чего следует, что применение системы актуально с учетом доработок при использовании вне помещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лаборатория БАС ГУАП [Электронный ресурс] // URL: <https://new.guap.ru/pubs/3548> (дата обращения 19.05.2022)
2. Постановление Правительства РФ от 25.05.2019 N 658 "Об утверждении Правил учета беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0,25 килограмма до 30 килограммов, ввезенных в Российскую Федерацию или произведенных в Российской Федерации".



3. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 N 138 (ред. от 02.12.2020) "Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации" (с изм. и доп., вступ. в силу с 09.06.2021) [3].
4. Квадрокоптер Clover 4 [Электронный ресурс] // URL: <https://clover.coex.tech/ru/> (дата обращения 19.05.2022).
5. Карпова Т. Ю., Костин А. С., Майоров Н. Н. Эксплуатация беспилотных авиационных систем: учеб. Пособие / Под ред. Н. Н. Майорова. СПб.: ГУАП, 2021. 167 с.
6. Еленин Д. В., Костин А. С., Майоров Н. Н. Основы автономного управления беспилотными авиационными системами для решения транспортных задач: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2020. 71 с.
7. Богатов Н. В., Костин А. С. Управление и анализ полёта квадрокоптера при задании сложной траектории движения // Системный анализ и логистика. Вып. 4 (26), ISSN 2077-5687. СПб.: ГУАП, 2020. С. 3–12.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горелова Анастасия Алексеевна –

студент кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: nastikgor166@gmail.com

Костин Антон Сергеевич –

ассистент кафедры системного анализа и логистики

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: anton13258@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gorelova Anastasia Alekseevna –

Student of department of system analysis and logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: nastikgor166@gmail.com

Kostin Anton Sergeevich –

Assistant of the Department of System Analysis and Logistics

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: anton13258@mail.ru