

РЕАЛИЗАЦИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА ПО РАЗРАБОТКЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО МОДУЛЯ

IMPLEMENTATION OF AN EDUCATIONAL PROJECT TO DEVELOP A RESEARCH MODULE

**M. Cherkasova
M. Kasyanova
S. Berezina**

Summary. Training of engineering specialists involves a wide range of approaches, including attracting young people to participate in practice-oriented educational projects. In this work, the task of developing, manufacturing and testing a research module for automatic delivery of goods and dumping them at a given point is realized. A model of the device was designed and manufactured, and software was developed for the control and pilot systems, power supply systems, cargo dumping, search and rescue. Pre-flight test tests were performed to check the opening of the beams and start the engines in the air flow. An experiment was carried out to launch the device, deliver the cargo to the specified point and reset it, return the device to the specified point and land.

Keywords: research module, pilot system, engine start, wind tunnel.

Черкасова Марина Александровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
m89163214957@inbox.ru

Касьянова Мария Андреевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный
технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
tenebris.agnus@yandex.ru

Березина Светлана Львовна

К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Московский
государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет)»
sberezina20008@yandex.ru

Аннотация. Подготовка специалистов инженерной направленности предполагает широкий спектр подходов, в том числе привлечение молодежи к участию в учебно-образовательных проектах практико-ориентированной направленности. В данной работе реализована задача по разработке, изготовлению и испытанию исследовательского модуля для автоматической доставки грузов и сброса их в заданную точку. Сконструирована и изготовлена модель аппарата, разработано программное обеспечение для управляющей и пилотной систем, системы электропитания, сброса груза, поиска и спасения. Проведены предполетные тестовые испытания проверки раскрытия лучей и запуска двигателей в воздушном потоке. Осуществлен эксперимент по запуску аппарата, доставке груза в заданную точку и его сбросу, возвращению аппарата на заданную точку и приземлению.

Ключевые слова: исследовательский модуль, пилотная система, запуск двигателей, аэродинамическая труба.

Введение

Существенный вклад в повышение интереса молодежи к получению знаний в области инженерии вносит развитие навыков к целенаправленной творческой деятельности, начиная со школьной скамьи и в процессе обучения в техническом ВУЗе [1–3].

Мотивацией к самостоятельной творческой деятельности является привлечение молодежи к участию в образовательных проектах практико-ориентированной направленности [4,5].

Участие в учебно-образовательных проектах, участвующих одновременно научную, техническую и ин-

женерную составляющие, предоставляет широкие возможности для активизации аналитического мышления, работы в составе команды, приобретения навыков самостоятельного творчества [6,7].

Данная работа выполнена в рамках учебно-образовательного проекта Ракетно-космической корпорации «Энергия», обеспечившей теоретическую базу, экспериментальные мастерские, испытательный полигон.

Цель работы

Разработка исследовательского модуля на основе коптера и его применение для отработки технологии автоматической доставки грузов в труднодоступные места.



Рис. 1. Начальный этап сборки аппарата на основе квадрокоптера

Методика эксперимента

Экспериментальная версия аппарата (рис. 1, 2) была изготовлена на базе квадрокоптера DJI Phantom 2, в котором штатный контроллер заменен на полетный контроллер Naze 32 rev6 Full. К контроллеру был подключен одноплатный миникомпьютер NanoPi Neo Air с камерой CAM500B.

Большинство элементов аппарата изготавливались на 3D-принтере методом послойного наплавления. Создание модели обеспечивалось путем последовательного нанесения слоев материала на контуры цифровой модели. В качестве материала для печати использовался термопластичный пластик PLA.

В процессе эксперимента были поставлены задачи, включающие:

- ◆ разработку модели аппарата, работающего по принципу коптера;
- ◆ подбор комплектующих;
- ◆ сборку тестовой модели аппарата;
- ◆ разработку программного обеспечения для пилотной и управляющей систем;
- ◆ испытание двигателей;
- ◆ разработку программного обеспечения для визуального обнаружения и позиционирования цели с помощью видеокамеры;
- ◆ проведение испытаний для проверки работы всех систем;
- ◆ запуск двигателей и полет аппарата в зону доставки груза по данным GPS;

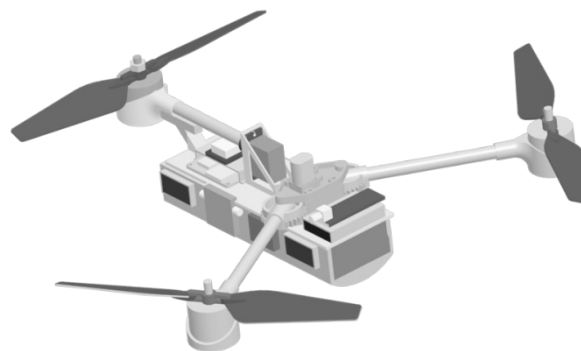


Рис. 2. Изготовленная 3D-модель аппарата

- ◆ автоматическое визуальное обнаружение и позиционирование цели с помощью видеокамеры и обеспечение подлета аппарата к точке сброса для доставки груза;
- ◆ сброс груза с автоматическим визуальным подтверждением с помощью видеокамеры;
- ◆ возвращение аппарата в место назначения;
- ◆ контроль уровня заряда батареи на протяжении полета;
- ◆ выполнение автоматической посадки в случае критически низкого заряда батареи;
- ◆ передача координат места посадки и подача звукового сигнала для обеспечения быстрого поиска аппарата;
- ◆ информирование о статусе миссии посредством SMS сообщений на всем протяжении полета;
- ◆ использование радиомаяка для поиска аппарата;
- ◆ передача телеметрии по интернет-каналу на сервер с интерактивным позиционированием аппарата;
- ◆ резервное сохранение телеметрии на SD карту.

Для осуществления функций аппарата были разработаны системы [8,9]:

- ◆ управляющая, отвечающая за выполнение всех операций, за исключением стабилизации и полета аппарата;
- ◆ пилотная, отвечающая за стабилизацию и полет аппарата;
- ◆ система распознавания цели, отвечающая за доставку груза;
- ◆ система электропитания;



Рис. 3. Установка «аэродинамическая труба»

- ◆ система раскрытия лучей;
- ◆ система сброса груза;
- ◆ система поиска и спасения.

Управляющая система, предназначенная для реализации общей программы полета, включала:

- ◆ одноплатный миникомпьютер NanoPi Neo Air;
- ◆ модуль GSM GPRS SIM800C;
- ◆ радио-модуль nRF24L01;
- ◆ пищалку MATEK Loud Buzzer;
- ◆ SD карту.

Пилотная система для определения пространственного положения аппарата, его стабилизации, полета в заданную точку, для передачи телеметрии в управляющую систему, включала:

- ◆ полетный контроллер Omnibus F4 V3 Pro;
- ◆ интегрированный сенсор движения MPU6000, состоящий из 3-х осевого гироскопа, 3-х осевого акселерометра и сигнального процессора;
- ◆ GPS модуль Matek M8Q-5883;
- ◆ регуляторы скорости ESC;
- ◆ три бесколлекторных двигателя BrotherHobby Returner R6 2207 с пропеллерами;
- ◆ сервопривод TowerPro MG90S;
- ◆ приемник RadioLink R12DSM.

Система распознавания цели предназначалась для формирования команд на перемещение аппарата, автоматического визуального определения места сброса груза и позиционирования аппарата относительно него после подлета на точку по данным GPS модуля. Использовалась модульная камера CAM500B, расположенная в нижней части корпуса аппарата. Программное обеспечение на базе библиотеки OpenCV было интегрировано

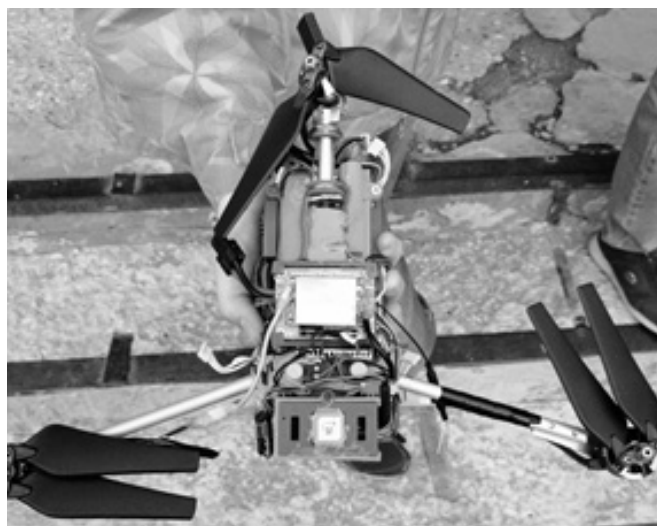


Рис. 4. Финальная версия аппарата

в основное программное обеспечение одноплатного микрокомпьютера NanoPi NEO Air.

Система электропитания, предназначенная для обеспечения энергоснабжения компонентов аппарата, включала:

- ◆ литий-полимерный (LiPo) аккумулятор Black Magic, с емкостью 5А·ч, номинальным напряжением 11,1В и током отдачи до 225А;
- ◆ плату распределения питания matek-PDB;
- ◆ модуль АЦП ADS1115.

Система поиска и спасения включала::

- ◆ радиомаяк Mini для Rockwell IBeacon;
- ◆ поисковое устройство комплекса Rockwell IBeacon;
- ◆ направленную антенну Yagi 800–4–1 868 МГц.

Экспериментальные исследования

Перед запуском аппарата были проведены предполетные тестовые испытания.

Установка для проверки возможности раскрытия лучей аппарата состояла из шестерней, электродвигателя, лучей и блока питания. В ходе испытаний определилась оптимальная конструкция системы раскрытия лучей с высокой степенью надежности.

При запуске аппарата на заданной высоте лучи раскрывались на 120° редуктором электродвигателя. Положение редуктора фиксировалось, и с помощью контактного выключателя, зажимаемого при достижении лучами необходимого угла, электродвигатель отключался.

Для проверки запуска двигателей были проведены предполетные испытания в воздушном потоке. Для этого была собрана аэродинамическая труба (рис. 3).

Установка состояла из напечатанного на 3D-принтере каркаса, обшитого картоном, и двух бесколлекторных двигателей для коптера. Для определения скорости воздушного потока использовалась трубка Пито, в состав которой входил датчик давления и температуры BMP180. В качестве системы контроля работы установки были использованы полетный контроллер OpenPilot CC3D mini, одноплатный компьютер NanoPi Neo Air, аккумулятор.

В результате проведенных испытаний была достигнута скорость воздушного потока 20–25 м/с, что гарантированно превышает максимальную скорость падения аппарата в атмосфере Земли с учетом погрешности измерений скорости потока в трубе. При такой скорости двигатель достигал необходимой мощности и уверенно запускался.

Принцип поиска радиомаяка заключался в оценке уровня радиосигнала, наблюдаемого на дисплее поискового устройства. Время непрерывной работы радиомаяка от одной зарядки встроенного аккумулятора составляет до 2 месяцев; дальность возможного поиска на открытой местности превышает 2,5 км. Направленная антенна обеспечивает прибавку дальности обнаружения маяка системы IBeacon в среднем в 3 раза.

Для работы комплекса не требуется наличие сотовой связи и SIM карт. При необходимости можно наблюдать положение маяка, его скорости и высоты в реальном времени на карте на экране смартфона или планшета на Андроиде. Также имеется возможность просмотра последних известных координат маяка на дисплее поискового устройства при подключении внешнего GPS приемника.

В ходе эксперимента аппарат (рис. 4) поднимался в воздух и в режиме автопилота направлялся к заданной точке по координатам GPS. После подлета к точке доставки груза по данным GPS модуля и зависания над ней включалась камера CAM500B, расположенная в нижней части аппарата, и с использованием программного обеспечения на базе библиотеки OpenCV производилось автоматическое визуальное определение расположения цели и позиционирование аппарата относительно нее.

Затем с помощью команд на перемещение аппарата от управляющей системы в пилотную (изменение углов крена, тангажа, рысканья и суммарной тяги двигателей) аппарат совершал подлет к точке сброса груза.

Во время зависания аппарата над точкой сброса передавалась команда управляющей системы на отделение груза от аппарата. После сброса груза с автоматическим визуальным подтверждением завершения, на базе контроллера Omnibus F4 V3 Pro в режиме автопилота по GPS координатам реализовывалась команда «полет домой». После возвращения аппарата в место назначения происходила его автоматическая посадка.

Работа с полетным контроллером Omnibus F4 V3 Pro осуществлялась на базе программного обеспечения (прошивки) INAV 2.2.0.

На протяжении всего полета проводился контроль напряжения на аккумуляторной батарее. В случае падения напряжения на одной из «банок» батареи ниже 3,1 В управляющей системой прерывается выполнение программы и передается команда на автоматическую посадку аппарата, аварийное сообщение с координатами точки аварийной посадки и подается звуковой сигнал.

Наземная станция информировала о смене каждого этапа работы аппарата путем SMS сообщений с использованием модуля GSM GPRS SIM800C.

На рабочем месте оператора наземного пункта был запланирован прием двух потоков телеметрии с одноплатного компьютера NanoPi NEO Air.

Первый поток телеметрии реализовывался с помощью радиомодуля nRF24L01 и наземной приемной станции, в состав которой входит аналогичный радиомодуль. Передача данных с приемной станции на компьютер осуществляется через сеть с использованием протокола UDP.

Второй поток телеметрии обеспечивается за счёт интернет-соединения. Для этого одноплатный компьютер подключался к интернету через модуль GSM GPRS SIM800C. Данные передавались с NanoPi NEO Air на компьютер через сервер по протоколу UDP. В состав данных входили: ускорение, угловые скорости, данные с магнитометра по трем осям, давление, температура, текущая высота, скорость, GPS координаты, напряжение на аккумуляторной батарее, статус миссии.

Обсуждение результатов

На протяжении работы аппарата для автоматической доставки грузов в труднодоступные места были получены следующие результаты.

- ◆ полет аппарата в зону доставки груза по данным GPS;
- ◆ сброс груза в точку доставки;

- ◆ определение местоположения аппарата (GPS);
- ◆ возвращение аппарата в место назначения (частично);
- ◆ автоматическая посадка;
- ◆ автоматическое визуальное обнаружение и позиционирование цели с помощью видеокамеры.

В качестве дополнительной миссии.

- ◆ контроль уровня заряда батареи;
- ◆ сохранение телеметрии на SD-карту;
- ◆ передача телеметрии по интернет-каналу на сервер;
- ◆ возможность перехода на ручное управление в случае НШС;
- ◆ использование радиомаяка для поиска аппарата;
- ◆ передача координат места посадки и подача звукового сигнала (писк) при низком заряде батареи.

Выводы

1. Разработана и изготовлена экспериментальная 3D-модель исследовательского модуля.
2. Разработано программное обеспечение для управляющей и пилотной систем, систем энергообеспечения, сброса груза, поиска и спасения.
3. Проведены предполетные тестовые испытания для проверки раскрытия лучей аппарата и запуска двигателей.
4. Выполнен эксперимент по запуску аппарата, доставке груза в заданную точку и его сбросу, возвращению аппарата на заданную точку и его приземлению.
5. Установлено, что для предотвращения возможной потери связи необходимо предусмотреть усиление мощности радиомодуля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев И.В., Логинов Ю.Ю., Зеленков П.В. Подготовка инженеров с использованием проектно-ориентированного обучения // Высшее образование в России. 2015. № 6. С. 5–11.
2. Толстенёва А. А., Терехина О. С. Подготовка студентов инженерных специальностей к исследовательской деятельности // Наука и школа. 2011. № 3. С. 93–96.
3. Горшкова О. О. Подготовка студентов инженерного вуза к исследовательской деятельности // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. 2012. № 4. С. 132–137.
4. Горшкова О. О. Исследовательская деятельность как неотъемлемый компонент профессиональной подготовки будущего инженера // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Гуманитарные науки. 2013. № 2(26). С. 169–176.
5. Березина С.Л., Гончаренко Е. Е., Горячева В. Н., Елисеева Е. А., Слынько Л. Е. Самостоятельная научно-исследовательская деятельность студентов в образовательной среде технического ВУЗа как средство повышения качества инженерной подготовки // Сборник Трудов Десятой Всероссийской конференции. Центр прикладной физики МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2019. Часть III. С. 141–145.
6. Чернов А. К., Березина С. Л., Гончаренко Е. Е. Разработка и испытания прототипа сверхмалого исследовательского модуля в рамках молодёжного образовательного проекта // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и Технические Науки». — 2018. -№ 10. — С. 22–26.
7. Березина С.Л., Елисеева Е. А., Гончаренко Е. Е. Проектирование малого исследовательского модуля в рамках образовательного проекта // Динамика сложных систем – XXI век. 2019. Т. 13. № 4. С. 18–22.
8. Ферсман П., Кашвих С., Крюгер Т., Шнеттер П., Вилкенс С. Интегрированная навигационная система на основе МЭМС для адаптивного управления полетом беспилотного аппарата // Гироскопия и навигация. 2013. № 1. С. 3–18
9. Cao Ch., Novakimyan N. L1 adaptive output feedback controller for systems of unknown dimension // IEEE Transactions on Automatic Control, 2008. Vol. 53, no. 3, pp. 815–821.

© Черкасова Марина Александровна (m89163214957@inbox.ru),

Касьянова Мария Андреевна (tenebris.agnus@yandex.ru), Березина Светлана Львовна (sberezina20008@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»