

УДК 528.8

**ЛЕТАЮЩАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НА БАЗЕ КВАДРОКОПТЕРА DJI**  
**Балухо И. Н., Дудчик Ю. И., Жукова М. Н., Кольчевский Н. Н.**

*НИИ «Институт прикладных физических проблем имени А. Н. Севченко» БГУ*  
*Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** Предложена летающая лаборатория на базе квадрокоптера DJI, решающая задачи обучающего и исследовательского характера, и практические задачи по разработке и внедрению в практику приборов и систем учета и контроля воздуха. Выполнены экспериментальные исследования по грузоподъемности квадрокоптера DJI Phantom 3, разработаны системы крепления измерительного оборудования и исследована устойчивость, и летные характеристики квадрокоптера, в зависимости от распределения дополнительных модулей. Разработаны и протестированы системы измерения концентрации углеводородных газов и пыли, давления и температуры, на основе микроконтроллера Arduino

**Ключевые слова:** квадрокоптеры; измерительная станция; DJI.

**FLYING LABORATORY BASED ON DJI QUADROCOPTER**  
**Balukho I., Dudchik Y., Zhukova M., Kolchevsky N.**

*A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems BSU*  
*Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** Proposed flying laboratory based on DJI quadcopter, which solves educational and research tasks, and practical tasks for the development and implementation in practice of devices and systems of air metering and control. Performed experimental research on the load capacity of the DJI Phantom 3 quadcopter, developed systems for attaching measuring equipment and studied the stability and flight characteristics of the quadcopter, depending on the distribution of additional modules. Developed and tested systems for measuring the concentration of hydrocarbon gases and dust, pressure and temperature, based on Arduino microcontroller.

**Key words:** quadcopters; measuring station; DJI.

*Адрес для переписки: Кольчевский Н. Н., ул. Курчатова 7, 403, г. Минск 220045, Республика Беларусь*  
*e-mail: kolchevsky@bsu.by*

Современные тенденции определяют важность создания квадрокоптеров и систем на их основе. Для подготовки специалистов необходимы условия для обучения управлению квадрокоптером и разработке электронного оборудования. Современные измерительные комплексы представляют собой сложные системы, состоящие из большого числа радиотехнических устройств, взаимодействующие с вычислительными сетями и являются «генераторами» экспериментальной информации. Задача создания измерительных систем на базе квадрокоптеров с возможностью высотных статичных измерений является актуальной и перспективной. Измерительные системы могут использоваться для экологического мониторинга атмосферы. Для образовательных целей важными задачами являются: изучение принципов управления и полетов квадрокоптеров; установка и освоение мобильных приложений для пилотирования; обучение сборке, пилотированию и программированию дронов; практические полеты с анализом фото и видео информации местности; изучение принципов позиционирования квадрокоптеров и выполнение полетов в интеллектуальных режимах: по заданным точкам, направлениям, траекториям, на заданной высоте над рельефом; практические полеты с анализом показаний газоизмерительных датчиков; выполнение расчетов по определению координат квадрокоптера и показаний

измерительных датчиков; построение 2D и 3D моделей местности и карт загрязнений воздуха, анализирующие пространственное распределение значений физических параметров.

Предлагаемая летающая лаборатория решает, как задачи обучающего и исследовательского характера, требуемые при подготовке специалистов-разработчиков современных высокотехнологичных средств измерения, так и чисто практические задачи по разработке и внедрению в практику приборов и систем учета и контроля воздуха.

Квадрокоптер DJI Phantom 3 [1] использовался в качестве носителя исследовательского оборудования. Общее время зарядки аккумулятора квадрокоптера составляет 1 час, в сравнении с заявленными 1 час 30 мин. Зарядки пульта управления квадрокоптером DJI Phantom 3 Advanced хватает на 12 вылетов по 23 минуты, т. е. время работы пульта составляет около 5 часов. При использовании 5 батарей и станции зарядки батарей можно осуществлять непрерывные полеты в течение 4–5 часов, что достаточно для образовательного процесса. Исследования грузоподъемности показали, что квадрокоптер DJI Phantom 3 может нести до 500 грамм полезной нагрузки, в качестве которой предложено использовать небольшие автономные модули. Разработаны системы крепления измерительного оборудования массой 100–200 грамм и исследована устойчивость, и летные

характеристики квадрокоптера, в зависимости от распределения дополнительных модулей. На рисунке 1 показана система квадрокоптера с лазерным модулем, создающим периодическую сетку лучей. Лазерный модуль позволяет решать как задачи лазерного зондирования атмосферы, так и задачи восстановления формы поверхности по ослаблению, рассеянию или изменению формы лазерного пятна.

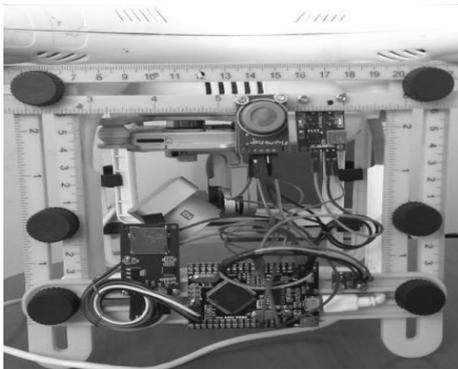
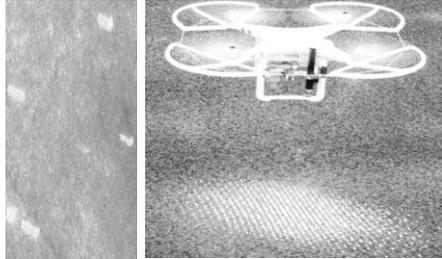


Рисунок 1 – Квадрокоптер с лазерным и измерительными модулями

Разработаны и протестированы системы измерения концентрации углеводородных газов и пыли, давления и температуры, на основе микроконтроллера Arduino ATmega, с функцией накопления данных на электронные носители. В качестве детекторов использовались электрохимические датчики серии MQ, регистрирующие широкий класс углеводородных газов с концентрациями от 200 до 1000 ppm [2], лазерные датчики для измерения концентрации твердых частиц PM<sub>2,5</sub> PM<sub>10</sub> с концентрацией до 999 мкг/м<sup>3</sup> и с разрешением от 0,3 мкг/м<sup>3</sup>, датчики давления (рисунок 2), температуры и влажности [3].

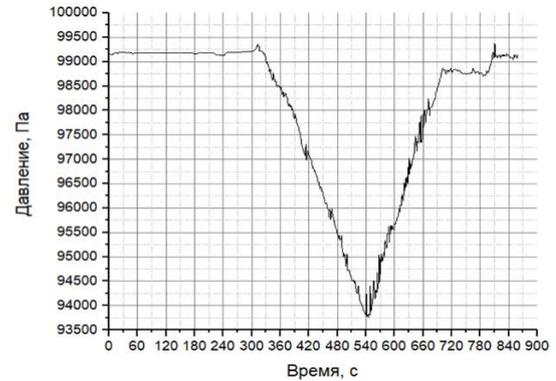


Рисунок 2 – Зависимость показаний датчика давления от времени полета

Для анализа экспериментальных данных, необходимо связать показания датчиков с параметрами полета квадрокоптера. Это можно сделать, путем синхронизации часов измерительного модуля с часами квадрокоптера или измеряя атмосферное давление. Атмосферное давление и температура уменьшаются с увеличением высоты, и по ним можно доопределять высоту квадрокоптера (рисунок 2). Таким образом, глобальный минимум давления определяет максимальную высоту квадрокоптера. Выбирая ее как точку отсчета, восстанавливаются показания экспериментальных датчиков в зависимости от высоты квадрокоптера. Использование разных комбинаций измерительных датчиков можно сформировать измерительные системы с требуемой чувствительностью к свойствам воздушной среды.

#### Литература

1. Официальный сайт компании DJI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dji.com>.
2. Measuring station based on drone DJI phantom / N. N. Kolchevsky // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: материалы VII международной науч.-практ. конф., посвященной 120-летию со дня рождения академика Антона Никифоровича Севченко, 18–19 мая 2023 г., Минск. – Минск, 2023. – С. 417–418.
3. Применение квадрокоптера Phantom 3 в качестве измерительной лаборатории / М. Н. Кольчевская // Математические методы в технике и технологиях. – ММТТ: Т. 12–3, 2019. – С. 22–28.