

## Стенд оптического обнаружения беспилотных летательных аппаратов в видимом и УФ-диапазоне

<b>Винтайкин Иван Борисович</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	Vintaikin_IVan@mail.ru
<b>Назолин Андрей Леонидович</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	nazolin72@mail.ru
<b>Морозов Андрей Николаевич</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	amor@bmstu.ru
<b>Глушков Владимир Леонидович</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	vladimirglushkov@yandex.ru
<b>Голяк Илья Семенович</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	iliyagol@mail.ru
<b>Свирин Виктор Витальевич</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	v_svirin@mail.ru
<b>Фуфурин Игорь Леонидович</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	igfil@mail.ru
<b>Анфимов Дмитрий Романович</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	anfimovdr@student.bmstu.ru
<b>Голяк Игорь Семенович</b> МГТУ им. Н.Э. Баумана	golyakis@bmstu.ru

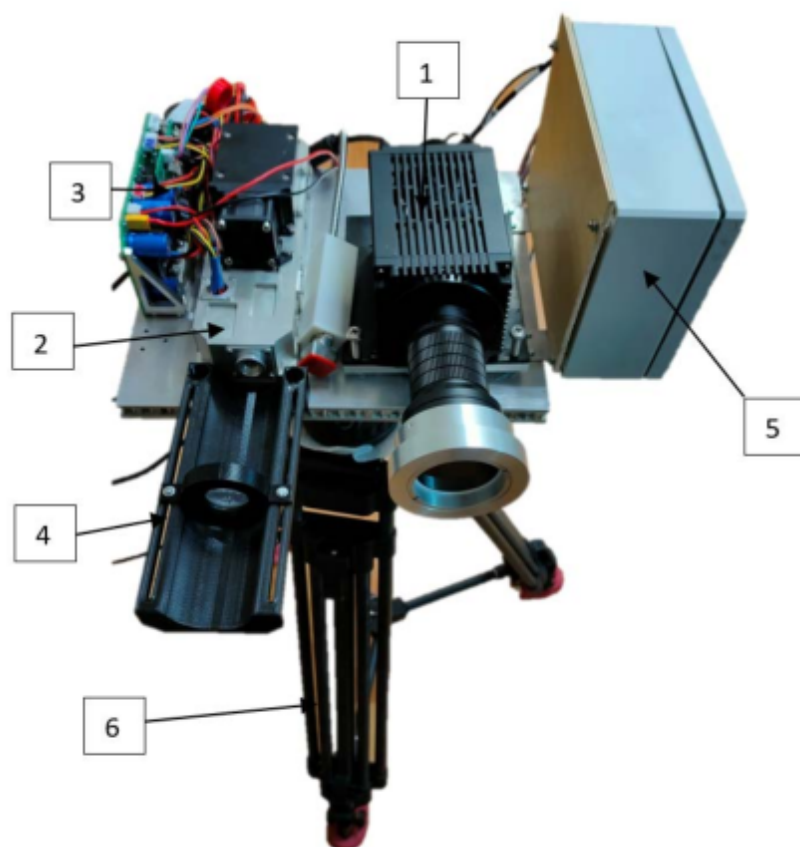
*События последних месяцев выявили, что широкое распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) несет с собой растущую угрозу применения БПЛА в террористических целях. Использование оптических методов в решении задач обнаружения, идентификации и определения параметров БПЛА приобретает большое значение. Ранее проведенные исследования оптических методов обнаружения в видимом и ИК-диапазонах показали, что использование нескольких оптических диапазонов позволяет компенсировать недостатки каждого из них, повысить надежность оптического обнаружения БПЛА.*

**Ключевые слова:** *оптические методы, идентификация, видимый диапазон, беспилотный летательный аппарат, ультрафиолетовый диапазон*

События последних месяцев выявили, что широкое распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) несет с собой растущую угрозу применения БПЛА в террористических целях. Использование оптических методов в решении задач обнаружения, идентификации и определения параметров беспилотных летательных аппаратов приобретает большое значение. Ранее проведенные исследования оптических методов обнаружения в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах [1, 2] показали, что использование нескольких оптических диапазонов позволяет компенсировать недостатки каждого из них, повысить надежность оптического обнаружения БПЛА.

Для оценки эффективности оптических методов обнаружения БПЛА на фоне инфракрасной структуры, живой и неживой природы был создан и испытан экспериментальный стенд оптического обнаружения БПЛА в видимом и ультрафиолетовом (УФ) диапазоне с УФ-лазерной подсветкой, внешний вид которого показан на рисунке. Стенд представляет собой платформу, на которой размещены компоненты обнаружения и наблю-

дения за объектами БПЛА, а также вспомогательные технические средства. Компоненты стенда смонтированы на единой платформе, которая представляет собой алюминиевую сэндвич-панель, обладающую высокой жесткостью на изгиб при малой массе.



**Рис.** Внешний вид экспериментального стенда:

1 — блок УФ-камеры; 2 — излучатель НТЕВ.433712.016; 3 — блок питания и управления НТЕВ.436218.013; 4 — крепление линзы УФ-излучателя; 5 — модуль синхронизации; 6 — штатив

Базовым блоком стенда выступает УФ-камера Dhyana 400BSI на основе КМОП-сенсора с обратной засветкой. Камера позволяет регистрировать изображения в диапазоне от 200 нм до 1000 нм. Главная особенность УФ-камеры — возможность предварительной калибровки для подавления структурных помех, таких как DSNU (неоднородность темного сигнала) и PRNU (неоднородность чувствительности матрицы). УФ-камера устанавливается своими штатными местами крепления на алюминиевое основание, которое соединено с шаровым механизмом, позволяющим установить параллельность оптических осей УФ-камеры и УФ-излучателя. Для изучения возможности обнаружения и распознавания БПЛА в УФ-диапазоне применен светофильтр УФ-излучения. Светофильтр УФ-излучения крепится непосредственно на объектив видеокамеры.

Генерация УФ излучения осуществляется импульсным твердотельным лазером с диодной накачкой, работающим на длине волны 266 нм (УФ-излучатель). УФ-излучатель выполнен в отдельном герметичном корпусе и представляет собой Nd-лазер с полупроводниковой накачкой. Излучатель имеет плоский оптический резонатор, модуляция добротности осуществляется пассивным лазерным затвором на основе кристалла YAG:Cr<sup>4+</sup>. Для достижения необходимой расходимости излучения лазера, при облучении объектов на малых расстояниях, на выходе установлена линза, выполненная из кварца. Линза располагается на таком расстоянии от лазера, чтобы исключить попадание бликов от нее в апертуру излучателя. Линза может перемещаться вдоль направления облучения для достижения необходимой расходимости излучения.

Для получения УФ-изображений разработана система синхронизации УФ камеры и лазера. Система синхронизации реализована в двух вариантах на основе микроконтроллеров Arduino и STM32. Микроконтроллер связан через гальвано-оптическую развязку с камерой и УФ-лазером.

Наблюдение флюоресценции исследуемых объектов в видимом диапазоне осуществляется посредством цветной видеокамеры DFK 39GX265-Z20, способной работать в видимом и ближнем ИК-диапазонах. Данная камера устанавливается отдельно на треногу и связана с УФ-лазером системой синхроимпульсов.

Управление работой стенда выполняется с помощью ноутбука. Питание осуществляется от сети переменного тока ~220 В. Информационная связь компонентов стенда с рабочим местом оператора, осуществляется по протоколам USB и COM.

В ходе проведения лабораторных и полевых испытаний проведена настройка сопряжения составных частей стенда, системы синхронизации УФ-лазера с УФ-камерой и видеокамерой, отработка прикладного программного обеспечения управления работой стенда, приема, обработки и регистрации изображений. При непосредственном направлении излучения на интересующий объект и наличии отраженного от него УФ-излучения эффективное обнаружение может быть выполнено только по геометрическим параметрам объекта. Получены изображения тест-объектов в УФ и видимом диапазоне, а также спектров люминесценции различных тест-объектов, по которым можно сделать вывод о возможности идентификации объектов в УФ-спектре при облучении УФ-лазером. Построена база УФ-изображений, с разной степенью освещенности и дистанции до БПЛА, на открытой местности на фоне естественных и искусственных объектов. Такой набор УФ-изображений необходим для настройки и обучения сверточной нейронной сети реального времени [4, 5].

Экспериментальный стенд, позволяет в автоматизированном режиме проводить регистрацию УФ-изображений отраженного УФ-излучения и видеоизображений с УФ-флюоресценцией удаленных объектов, возбуждаемых импульсным УФ-лазером. Экспериментальный стенд предназначен для отработки алгоритмов экспресс-обработки УФ-изображений и видеоизображений, оценки эффективности оптических методов обнаружения и идентификации БПЛА на фоне инфраструктуры, объектов живой и неживой природы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 19-29-06009.*

## **Литература**

- [1] Адоньев Е.А., Зинкевич А.В. Анализ методов идентификации беспилотных летательных аппаратов в реальном времени и способы их реализации. Информационные технологии XXI века, 2020, с. 197–202.
- [2] Golyak I. S. et al. Methods for real-time optical location and tracking of unmanned aerial vehicles using digital neural networks. Automatic Target Recognition XXX. International Society for Optics and Photonics, 2020, vol. 11394, art. 113941B. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2573209>
- [3] Назолин А.Л. и др. Экспериментальный стенд обнаружения и идентификации беспилотных летательных аппаратов. Необратимые процессы в природе и технике. тр. XI Всерос. конф.: в 2 т., 2021, т. 2, с. 76–79.
- [4] LeCun Y. et al. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. Neural computation, 1989, vol. 1, no. 4, pp. 541–551. DOI: <https://doi.org/10.1162/neco.1989.1.4.541>
- [5] Redmon J., Farhadi A. YOLO9000: better, faster, stronger. Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2017, pp. 7263–7271. DOI: <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.690>