

Эффективность приведенных рекомендаций продемонстрирована результатами расчета компактного окуляра призматического типа, представленного на рисунке 3.

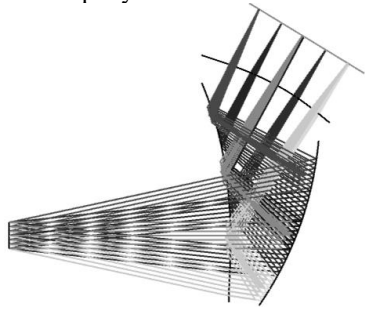


Рисунок 3 – Призма-линза после окончательной оптимизации

Данная система работает в спектральном диапазоне (480–656,3) нм и имеет фокусное расстояние  $f' = 22,2$  мм, входной зрачок  $D = 4$  мм, угловое поле зрения по вертикали  $2\omega_v = 24,2^\circ$ , по

горизонтали  $2\omega_h = 31,6^\circ$ , по диагонали  $2\omega_d = 39,5^\circ$ , вынос зрачка 27 мм. Разрешающая способность в центре поля составляет  $1''$ . При этом габариты системы не превышают  $(38,5 \times 18,6 \times 31)$  мм.

В ходе работы были проанализированы данные по призме с поверхностями freeform, получены аналитические выражения для структурных ограничений и ПВО при оптимизации схемы. Для подтверждения работы представленных формул, по описанной методике была спроектирована призма-линза с поверхностями свободной формы.

#### Литература

1. Грейсух, Г. И. Компактный объектив перископического типа на основе клиновидных призм с поверхностями свободной формы // Г. И. Грейсух, Е. Г. Ежов, И. А. Левин, С. В. Казин // Оптический журнал. – 2021. – Т. 88, № 10. – С. 3–10.
2. Optical see-through free-form head-mounted display: пат. US 11300790 B2 / D. Cheng [et al.]; заявл. 12.01.2022; опубл. 12.04.2022. – 15 с.

УДК 623.467

### РАЗВИТИЕ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Али-заде Э. Т., Кузнецик В. О.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

**Аннотация.** В работе рассмотрены различные типы управления беспилотными летательными аппаратами, а также способы взаимодействия оператора с летательным аппаратом и недостатки каждого метода связи. Изложен принцип работы беспроводной оптической системы связи. Предложен вариант дальнейшего развития приемо-передающих систем управления по лазерному лучу.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, связь между пилотом и аппаратом, лазерный канал управления.

### DEVELOPMENT OF RECEIVING AND TRANSMITTING AIRCRAFT CONTROL SYSTEMS

Ali-zade E. T., Kuznechik V. O.

*Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The paper considers various types of control of unmanned aerial vehicles, as well as ways for the operator to interact with the aircraft and the disadvantages of each communication method. The principle of operation of a wireless optical communication system is described. A variant of further development of laser beam receiving and transmitting control systems is proposed.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, communication between the pilot and the vehicle, laser control channel.

Адрес для переписки: Али-заде Э. Т. пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь  
e-mail: alizade.eldar843@gmail.com

Согласно определению, одобренному ИКАО, беспилотный летательный аппарат (дрон) представляет собой воздушное судно без пилота, которое выполняет полет без командира воздушного судна на борту и либо полностью дистанционно управляется из другого места с земли, с борта другого воздушного судна, из космоса, либо запрограммированно и полностью автономно [1].

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) делятся на гражданские, коммерческие и военные. Они применяются для решения различных задач: сельское хозяйство, строительство, энергетика, археология, картографирование, тушение пожаров, поисково-спасательные операции, медицина,

мониторинг трубопроводов, мостов, линий электропередач, охраняемых объектов и другие.

Первый дистанционно управляемый БПЛА военного назначения многократного использования появился в 1933 году, гражданские дроны – в 2000-х годах.

На данный момент управление беспилотными аппаратами осуществляется тремя типами: дистанционный, автономный и гибридный.

**Дистанционное управление полетом** – это работа специалиста с пультом. Аппарат получает команды, а также передает информацию пилоту в реальном времени.

**Аппараты с автономной системой управления** запрограммированы на выполнение определенной задачи. Работают автоматически за счет встроенного микропроцессора, возможно применение искусственного интеллекта (ИИ-алгоритмов). Беспилотники могут самостоятельно действовать при наличии встроенного навигационного оборудования.

**Гибридная система управления дроном** – оператор с пультом и функция автономности. Совмещенный набор средств позволяет минимизировать повреждения аппарата и успешно выполнить задачу в случае потери связи с оператором. Обычно гибридная система управления имеется у аппаратов с большой дальностью действия.

Связь между пилотом и аппаратом обеспечивается передачей данных через радиоканал, 5G-канал, проводная или оптоволоконная линия связи, также возможно обеспечение управления при помощи беспроводной оптической линии связи.

Радиоканал и 5G-канал подвержены влиянию РЭБ систем что делает их использование не целесообразным при определенных условиях.

Проводная или оптоволоконная линия связи не подвержены влиянию РЭБ систем, однако имеют ограничение по дальности работы за счет длины кабеля. Проводная линия связи имеет меньшее быстродействие в сравнении с оптоволоконной линией связи.

Беспроводные оптические системы имеют следующие недостатки: малая маневренность летательного аппарата за счет прямолинейного движения по лучу лазера, до цели должна быть прямая видимость.

Передача данных в беспроводных оптических системах основана на организации высокоскоростных каналов связи посредством инфракрасного излучения, которые позволяют обеспечить передачу данных между объектами через атмосферу, передавая модулированное излучение без использования стекловолна. Излучателем служит мощный полупроводниковый лазерный диод. Входной электрический сигнал поступает в приемопередающий модуль, в котором кодируется различными помехоустойчивыми кодами, модулируется оптическим лазерным излучателем и фокусируется оптической системой передатчика в узкий коллимированный лазерный луч. Оптическая система фокусирует сигнал на фотодиод, которая преобразует излучение в электрический сигнал, далее сигнал демодулируется и преобразуется в сигнал выходного интерфейса. Оптические системы работают в диапазоне длин волн 700–950 нм.

На принимающей стороне оптическая система фокусирует оптический сигнал на высокочувствительный фотодиод (или лавинный диод), который преобразует оптический пучок в электрический сигнал. При этом чем выше частота, тем больше объем передаваемой информации. Далее

сигнал демодулируется и преобразуется в сигналы выходного интерфейса. Длина волны в большинстве реализованных систем варьируется в пределах 700–950 нм или 1550 нм, в зависимости от применяемого лазерного диода. При движении летательного аппарата располагается в лазерном поле, которое сохраняет свой размер по мере перемещения летательного аппарата. В ходе полета летательного аппарата лазерное поле сопровождает его на рабочих дальностях с помощью встроенной в прибор управления ZOOM-системы, обеспечивающей постоянный размер лазерного поля управления на протяжении полета ракеты. При этом задачей наводчика является совмещение прицельной марки прибора управления с изображением цели.



Рисунок 1 – Внешний вид передающих каналов

Развитие таких систем в основном состоит с развитием составных частей таких систем.

Направления развития приемо-передающих систем управления по лазерному лучу:

- Совершенствование лазерных передающих устройств и на их основе модулирующих устройств (лазерные полупроводниковые диоды, диодные линейки, различные виды и реализации оптической модуляции и т. д.).

- Совершенствование фотоприемных устройств (фотодиодных модулей, фотодиодов) и модулей обработки аналогового сигнала.

- Совершенствование алгоритмов обработки цифрового сигнала (кодировка передаваемой информации).

- Совершенствование аналоговой и цифровой схемотехники.

На рисунке 1 показаны два различных передающих каналов с разными техническими характеристиками. Они имеют различные по принципу излучательные системы, способы кодировки (защиты информации).

Разработка и развитие приемо-передающих систем имеет большое значение, так как на базе таких систем можно создать приборы управления огнем по лазерному лучу или использовать их для управления дронами, когда передача информации через радиоканалы невозможна.

## Литература

1. Беспилотный летательный аппарат (дрон, БПЛА) // Tadviser: [сайт]. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Беспилотный\\_летательный\\_аппарат\\_\(дрон,\\_БПЛА\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Беспилотный_летательный_аппарат_(дрон,_БПЛА)) (дата обращения: 20.12.2024).

2. Ловцов, Д. А. Моделирование оптико-электронных систем дистанционно пилотируемых аппаратов: монография / Д. А. Ловцов, Д. А. Гаврилов. – М.: Технолож-3000, 2019. – 164 с.

УДК 004.93'11

**МЕТОДИКА РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ  
НА ОСНОВЕ МНОГОУРОВНЕВЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ**  
Беляев Ю. В., Литвинович Г. С., Мартинов А. О., Старовойт А. И., Цикман И. М.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ»,  
Минск, Беларусь*

**Аннотация.** В работе представлена методика тематической обработки данных дистанционного зондирования для идентификации природных объектов по их коэффициенту спектральной яркости (КСЯ). Методика основана на анализе эталонных спектров, полученных в ходе лабораторных и наземных спектрометрических измерений образцов почв и хвои различного состояния. Созданная на их основе обучающая выборка использовалась для классификации авиационных данных. Показана эффективность предложенного подхода для выделения кластеров, соответствующих разной степени усыхания хвойных пород.  
**Ключевые слова:** КСЯ, спектрометр, методика, классификация.

**RECOGNITION METHOD FOR NATURAL OBJECTS BASED  
ON MULTILEVEL SPECTRAL DATA**

**Belyaev Yu. V., Litvinovich H. S., Martinov A. O., Starovoit A. I., Tsykman I. M.**

*A. N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems of Belarusian State University,  
Minsk, Belarus*

**Abstract.** The paper presents a method for thematic processing of remote sensing data for identifying natural objects by their spectral reflectivity. The method is based on the analysis of reference spectra obtained during laboratory and ground-based spectrometric measurements of soil samples and needles of various states. The training sample created on their basis was used to classify aviation data. The efficiency of the proposed approach for identifying clusters corresponding to different degrees of drying of coniferous species is shown.

**Keywords:** Reflectivity, spectrometer, methodology, classification.

*Адрес для переписки: Беляев Ю. В., ул. Курчатова, 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь  
e-mail: belyv@tut.by*

**Введение.** Исследования спектральных характеристик природных объектов показали, что спектры отражательной способности существенно зависят от состояния и свойств объектов. Растительность и почвы имеют различные отражательные свойства в зависимости от влажности, фазы вегетации, поражения болезнями и других факторов. Эти отличия лежат в основе дистанционного зондирования Земли – по спектральным признакам можно идентифицировать тип поверхности и оценивать ее состояние. Целью настоящей работы является разработка методики тематической обработки данных для выделения и распознавания природных объектов по спектральным признакам на основе результатов лабораторных и наземных измерений.

**Лабораторные измерения.** Для верификации данных дистанционного зондирования проведены лабораторные спектрометрические измерения с использованием специализированного гониометрического комплекса «Визир» [1,2]. Комплекс «Визир» позволяет измерять двунаправленные спектрополяризационные коэффициенты отражения образцов в спектральном диапазоне 400–

2500 нм. В комплекс введен механизм автоматической смены образца и эталона: каждый спектрометр поочередно измеряет сигнал от исследуемого образца и от эталонной белой пластины (молочное стекло МС-20).

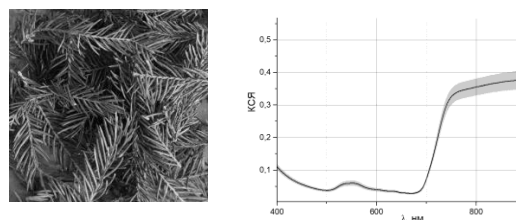


Рисунок 1 – Внешний вид образца хвои (слева) и измеренный КСЯ с дисперсией (справа)

В лабораторных условиях исследованы образцы различных почв и хвои в разной степени поражения (здоровые и больные образцы, классифицированные лесопатологом по степени усыхания), отобранные в полевых условиях, с целью получить их эталонные спектры для последующей классификации (рисунок 1). Такой подход обеспечивает сопоставимость лабораторных данных