



Изображения квадрокоптера хранят информацию о времени и месте съемки (GPS координаты: широта, долгота, высота), режиме съемки (диафрагма, выдержка, ISO, экспокоррекция, фокусное расстояние, светосила, экспозамер, режим фотовспышки). К полученным изображениям применяются цифровые фильтры для улучшения качества (подавление шумов, цветокоррекция, контраст, яркость, резкость, насыщенность, баланс белого и т. д.).

Пиксельный характер изображения и «вид сверху» имеют необычный ракурс, что затрудняет идентификацию объектов.

В сельском хозяйстве объектами контроля и распознавания могут быть поля, дороги, посевы, животные, сельхозтехника, в лесном хозяйстве – деревья, поляны, озера, дикие животные, птицы, в градостроительстве – промышленные предприятия, здания, жилые комплексы, стадионы, парки, дороги, автотранспорт, объекты энергетики, в социальной сфере – люди, общественные мероприятия, и т. д. Многие объекты крайне затруднительно идентифицировать при съемке с помощью квадрокоптера: насекомые и мелкие животные, воздушные загрязнения, в связи с малым размером (менее одного пикселя) или незначительности отраженного/рассеянного излучения для выделения на фоне соседних пикселей. Некоторые идентификационные признаки объектов показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Идентификационные признаки объектов на изображениях, полученных квадрокоптером

Изображение	Размер	Объект - Признак
	0,33м	Человек Заметно большей площадью обладает тень человека, объект движется при сравнении близких снимков. Не наблюдается лицо, т.е. сложно (невозможно) идентифицировать личность.
	1-20м	Дорога Однотонность цвета, протяженность по всей фотографии, геометрическая правильность, контрастные разделительные линии, наличие на дороге однотипных движущихся объектов.

#### Литература

1. Официальный сайт компании DJI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dji.com>.
2. Шалькевич, Ф. Е. Методы аэрокосмических исследований: курс лекций / Ф. Е. Шалькевич. – Мн.: БГУ. – 2005. – 161 с.
3. Flying 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.

УДК 535.241

#### КОМПЛЕКС «ИК-КАМЕЯ»

Беляев Ю. В., Литвинович Г. С., Цикман И. М., Попков А. П.

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

**Аннотация.** В работе представлены результаты разработки комплекса для исследования и определения параметров аппаратуры дистанционного зондирования ИК диапазона. Представлен состав, краткое описание и основные характеристики комплекса.

**Ключевые слова:** ИК диапазон, оптические характеристики, поляризатор, детектор, абсолютно черное тело, монохроматор, диффузный излучатель.

#### «ИК-KAMEYA» COMPLEX

Beliaev Y., Litvinovich H., Tsykman I., Popkov A.

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

**Abstract.** The paper presents the results of developing a complex for studying and determining the parameters of IR remote sensing equipment. The composition of the complex is presented, a brief description and main characteristics of its constituent blocks are given.

**Keywords:** IR range, optical characteristics, polarizer, detector, black body, monochromator, diffuse emitter.

*Адрес для переписки: Литвинович Г. С., ул. Курчатова 7, г. Минск 220045, Республика Беларусь  
e-mail: litvinovichgs@yandex.by*

Многоспектральные оптические приборы инфракрасного (ИК) диапазона длин волн от 1 до 10 мкм, используемые в нашей стране в настоящее время, имеют различное назначение: гидрометеорологическое, природно-ресурсное, для мо-

нитинга чрезвычайных ситуаций, для экологического мониторинга и т. д., обеспечивают отечественных потребителей независимыми данными дистанционного мониторинга с авиационной и космической платформ [1].

Комплекс «ИК-Камея» предназначен для исследования спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ИК-диапазона длин волн от 1 до 10 мкм, для наладки и градуировки спектральных приборов дистанционного мониторинга наземного и аэрокосмического базирования.

В состав комплекса входят блоки: диффузного излучателя; монохроматического излучателя; эталонного излучателя – высокотемпературное абсолютно черное тело (АЧТ); эталонного излучателя – низкотемпературное АЧТ; поляризации излучения; регистрации излучения.

Комплекс «ИК-Камея» используется для получения излучения с требуемым спектральным диапазоном и с определенной поляризацией в диапазоне длин волн от 1 до 10 мкм.

Блок диффузного излучателя служит источником сплошного ИК диффузного излучения в спектральном диапазоне 1–10 мкм длин волн. Диффузный излучатель выполнен на основе позолоченной фотометрической сферы диаметром 200 мм с двумя входными портами для ввода излучения и одного выходного порта диаметром 50 мм. Источниками освещения «золотой» фотометрической сферы являются нагретая постоянным током светящаяся спираль или ИК-светодиод. Спираль изготавливалась путем намотки проволоки из нихрома марки Х20Н80 диаметром 0,2 мм на керамический сердечник. ИК-светодиоды питаются импульсным током с частотой около 2 кГц.

Блок монохроматического источника излучения конструктивно состоит из монохроматора и его системы освещения.

Монохроматор МДР-23 используется для выделения из сплошного спектра ИК-излучения узких монохроматических линий. Для работы в ИК-диапазоне в монохроматоре МДР-23 используется дифракционная решетка, имеющая 75 штрихов/мм.

Система освещения монохроматора включает источник инфракрасного излучения сплошного спектра и систему зеркал. В качестве источника ИК излучения сплошного спектра используется нихромовая (марки Х20Н80) лента шириной 3 мм, нагреваемая током в 14 А (используется источник постоянного тока СРХ 400 DP). Система зеркал фокусирует изображение участка ленты на входную щель монохроматора и состоит из плоского размером 30×30 мм и вогнутого диаметром 50,8 мм и фокусным расстоянием 152,4 мм зеркал. Эти зеркала имеют золотое напыление для уменьшения потерь на отражение в рабочей ИК-области спектра.

Высокотемпературное АЧТ и низкотемпературное АЧТ являются источниками равновесного теплового излучения с диапазонами воспроизводимых температур от минус 30°С до плюс 1100°С.

Высокотемпературное АЧТ – модель абсолютно черного тела АЧТ-45/100/1100 второго ряда, предназначен для настройки и градуировки средств бесконтактного измерения температуры в

диапазоне температур от 300 до 1100°С в лабораторных условиях.

Низкотемпературное АЧТ – модель абсолютно черного тела «Деметра», предназначен для настройки и градуировки средств бесконтактного измерения температуры (пирометров и измерительных тепловизоров) в диапазоне температур от минус 30°С до плюс 80°С в лабораторных условиях.

Поляризационные измерения в заданном спектральном диапазоне ИК-области длин волн необходимы для контрастирования различных объектов, сливающихся с фоном. Блок поляризации излучения комплекса изготовлен на основе поляризатора – призмы Рошона, изготовленной из фторида магния  $MgF_2$ , и системы поворота призмы на заданные углы. Шаговый двигатель системы поворота устанавливает ось поляризации кристалла в трех положениях 0°, 45°, 90° от базового направления.

Блок регистрации излучения служит для детектирования и оценки интенсивности ИК-излучения. Он выполнен на основе одноэлементных детекторов РVI-4ТЕ-5-1×1 на диапазоны 2,7–5,2 мкм и РVI-3ТЕ-10.6-0,5×0,5 на диапазон 3–12 мкм. Спектрально-анализатор представляет собой охлаждаемый HgCdTe-детектор со сменными интерференционными светофильтрами соответствующего диапазона с шириной линии пропускания 100–500 нм в зависимости от поддиапазона.

В качестве моторизованной поворотной платформы блока регистрации (компаратора) использована платформа Standa 8MR190-90-59.

Все блоки комплекса «ИК-Камея» располагаются на горизонтальной оптической плите.

Технические характеристики комплекса «ИК-Камея» приведены в таблице.

Таблица – Технические характеристики комплекса «ИК-Камея»

Спектральный диапазон, мкм	1,0 – 10,0
Коэффициент отражения покрытия «золотой» фотометрической сферы в области 1,0–10,0 мкм, %	не менее 96
Диаметр входной апертуры приборов дистанционного мониторинга, мм	не более 50

Из-за невысокого ресурса высокотемпературного АЧТ, в качестве рабочего эталона спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) используется диффузный излучатель на основе фотометрической сферы. Калибровка комплекса для переноса единицы СПЭЯ с АЧТ на диффузный излучатель, выполненный на основе «золотой» фотометрической сферы, выполняется методом компарирования. При этом на поворотную платформу устанавливается блок регистрации – компаратор, сличающий сигнал в определенных спектральных поддиапазонах. Вокруг поворотной платформы с компаратором последовательно по окружности устанавливаются источники эталонного излучения – высокотемпературное АЧТ и низкотемпературное АЧТ, и калибруемый диффузный излучатель.

Компаратор регистрирует поочередно излучение от эталонов и от диффузного излучателя (ДИ) в каждом из спектральных каналов. Затем вычисляется СПЭЯ рабочего эталона по следующей формуле:

$$L_{\text{ДИ}}(\lambda) = \frac{V_{\text{ДИ}}^{\text{СИГН}} - V_{\text{ДИ}}^{\text{ТЕМН}}}{V_{\text{Э}}^{\text{СИГН}} - V_{\text{Э}}^{\text{ТЕМН}}} \cdot \int L_{\text{Э}}(\lambda) R(\lambda) S(\lambda) d\lambda,$$

где  $V_{\text{ДИ}}^{\text{СИГН}}$ ,  $V_{\text{Э}}^{\text{СИГН}}$  – сигнал от ДИ и эталона;  $V_{\text{ДИ}}^{\text{ТЕМН}}$ ,  $V_{\text{Э}}^{\text{ТЕМН}}$  – темновой (шумовой) сигнал, регистрируемый при закрытой входной апертуре компаратора при измерении сигналов от ДИ и эталона;  $L_{\text{Э}}(\lambda)$  – СПЭЯ эталона;  $R(\lambda)$  – пропускание фильтра на длине волны  $\lambda$ ;  $S(\lambda)$  – спектральная чувствительность детектора на длине волны  $\lambda$ .

Комплекс предоставляет возможность определять спектральную чувствительность, спектральный диапазон калибруемого средства измерения, коэффициент пропускания материалов, а также проводить калибровки спектральных приборов по СПЭЯ.

Комплекс разработан в рамках задания «Разработать и изготовить комплекс для определения спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ДЗЗ в ИК-диапазоне» подпрограммы «Оборудование для перспективных научных исследований» ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование».

#### Литература

1. Сизиков, А. С. Способы повышения эффективности авиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с использованием технических средств дистанционного зондирования Земли / А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 1 (78). – С. 52–62.
2. Комплекс для определения спектрально-поляризационных параметров аппаратуры дистанционного зондирования Земли в ИК-диапазоне / А. С. Сизиков [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2024. – № 1 (55). – С. 31–39.

УДК 616-78

### СНИЖЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОИМПЕДАНСНЫХ СПЕКТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Бразовская Н. Г., Бразовский К. С., Конев А. В.

*Сибирский государственный медицинский университет,  
Томск, Российская Федерация*

**Аннотация.** Электроимпедансная спектроскопия (ЭИС) играет важную роль в исследованиях электрических свойств биологических объектов, позволяя оценивать параметры жизнеспособности тканей и отдельных клеток в реальном времени. Несмотря на относительную простоту технической реализации измерительного тракта, в многоканальных электроимпедансных приборах существует проблема межканального прохождения сигнала, приводящая к повышению погрешности измерений. В работе представлен один из возможных подходов к снижению влияния межканальных помех на основе нейросетевого моделирования измерительного тракта с последующим адаптивным вычислением матрицы коррекции исходных измерений.

**Ключевые слова:** электроимпедансная спектроскопия, коррекция погрешностей, межканальное прохождение сигнала.

### REDUCING THE MEASUREMENT UNCERTAINTY OF ELECTRICAL IMPEDANCE SPECTRUM OBTAINED FROM BIOLOGICAL OBJECTS

Brazovskaya N., Brazovskii K., Konev A.

*Siberian State Medical University  
Tomsk, Russian Federation*

**Abstract.** Electrical impedance spectroscopy (EIS) plays an important role in measuring the electrical properties of biological objects. EIS allows studying liability of tissues and cells in real time. Despite the relative simplicity of the hardware part, multichannel EIS suffers from interchannel interferences that significantly increase the uncertainty of the measurements. The present paper describes a possible approach to reduce this uncertainty based on an adaptive neural network model of the hardware to approximate the correction matrix.

**Key words:** electrical impedance spectroscopy, error correction, interchannel interferences.

*Адрес для переписки: Бразовский К. С., Московский тракт 2/7, г. Томск 634050, Российская Федерация  
e-mail: bks\_2005@mail.ru*

Электроимпедансная спектроскопия биологических объектов применяется для исследования параметров жизнеспособности органов, тканей и отдельных клеток, поскольку удельная проводимость и диэлектрическая проницаемость биологических структур непосредственно связаны с их целостностью и функциональным состоянием. В

случае многоканальных электроимпедансных измерений появляется возможность реконструировать трехмерное пространственное распределение электрических параметров изучаемых объектов (метод электроимпедансной томографии).

К сожалению, при многоканальных измерениях появляется характерный вид погрешности