

## ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПОЖАРОВ И АВАРИЙ

DOI: <https://doi.org/10.54422/1994-439X>. 2024.1-55.31-39

УДК 614.8; 681.7.08:535.3

к.т.н. Сизиков А.С., к.т.н. Беляев Ю.В.\*, Литвинович Г.С.\*,  
к.т.н. Цикман И.М.\*, к.т.н. Попков А.П.\*

### КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНО-ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АППАРАТУРЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (ДЗЗ) В ИК-ДИАПАЗОНЕ

*Учреждение «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь, г. Минск*

*\*Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ, г. Минск*

В статье приводится разработка отечественного комплекса для определения спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ДЗЗ в ИК-диапазоне, указаны ее основные компоненты, технические параметры и характеристики, а также обозначен перечень решаемых с помощью комплекса задач.

*Ключевые слова:* тепловизионное оборудование, тепловизор, авиационный мониторинг, чрезвычайные ситуации, термограмма, калибровка, лесной пожар, контролируемые параметры.

**Ph.D. in Technology Sizikov A.S., Ph.D. in Technology Beliaev Y.V.\*, Litvinovich H.S. \*, Ph.D. in Technology Tsykman I.M. \*, Ph.D. in Technology Popkov A.P.\***

### THE COMPLEX FOR DETERMINATION SPECTRAL-POLARIZATION PARAMETERS OF REMOTE SENSING EQUIPMENT IN THE IR-RANGE

*The Establishment "Research Institute of Fire Safety and Emergencies" of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk*

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

The article describes the development of a domestic complex for determining the spectral and polarization parameters of remote sensing equipment in the IR-range, indicates its main components, technical parameters and characteristics, and also indicates a list of tasks determined using the complex.

*Keywords:* thermal imaging equipment, thermal imager, aviation monitoring, emergencies, thermogram, calibration, forest fire, monitored parameters.

## Введение

Телевизионное оборудование (теповизоры) все чаще используется в настоящее время в самых различных сферах деятельности человека. Особое значение при этом имеет использование тепловизионной аппаратуры для нужд органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (ОПЧС), решения стоящих перед ними задач по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС), обеспечению безопасности жизнедеятельности [1].

При этом тепловизоры используются, как правило, для реализации двух типов задач в условиях ограниченной видимости:

обнаружение очагов лесных (торфяных) пожаров, определение их контролируемых параметров [2];

поиск и обнаружение людей, потерявшихся в лесном массиве, либо находящихся в зоне чрезвычайной ситуации (например, при сильном задымлении, под завалом и т.п.) [3].

В первом случае процесс горения либо скрыт дымом, либо верхним слоем почвы (при торфяном пожаре) и в видимом диапазоне длин волн определить очаг и контролируемые параметры не представляется возможным.

Во втором случае поиск человека может быть затруднен элементами лесных насаждений (кустарник, листва, кроны деревьев и т.п.), а также недостаточным уровнем освещенности (например, при поисках в темное время суток, ночью, тумане, условиях сильного задымления).

Там, где обычная фото- и видеофиксирующая аппаратура не способна решить стоящие задачи, тепловизионное оборудование, напротив, демонстрирует высокую эффективность.

Однако, для повышения эффективности использования телевизоров, в том числе с борта летательного аппарата (ЛА) при осуществлении авиационного мониторинга, для решения указанных задач, помимо их калибровки [4] требуется и разработка соответствующих методик обнаружения различных объектов в ИК-диапазоне при помощи дистанционных методов в натуральных условиях, в том числе с использованием поляризационных измерений, основанных на выявлении закономерностей и получении зависимостей спектрально-поляризационных характеристик объекта от его конкретных особенностей и условий окружающей среды [5].

Также проведение спектральных исследований различных природных и искусственных объектов в лабораторных условиях позволит построить соответствующие базы данных в ИК-диапазонах, необходимые для верификации данных, получаемых уже в натуральных условиях.

С этой целью было принято решение о разработке отечественного комплекса для определения спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ДЗЗ в ИК-диапазоне.

## Основная часть

Создание указанного комплекса в настоящее время успешно реализуется в рамках выполнения задания «Разработать и изготовить комплекс для определе-

ния спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ДЗЗ в ИК-диапазоне» (шифр «ИК-Камея») в рамках подпрограммы «Оборудование для перспективных научных исследований» ГНТП «Национальные эталоны и высокотехнологичное исследовательское оборудование» 2021 – 2025 годы.

Основным назначением создаваемого комплекса «ИК-Камея» является определение спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ДЗЗ и получение излучения, требуемого спектрального и поляризационного состава в ИК-диапазонах для наладки, исследований параметров и калибровки приборов ДЗЗ наземного и аэрокосмического базирования.

Комплекс представляет собой набор осветителей, детекторов, оптико-электронных элементов, объединенных в конструктивные блоки, в совокупности, предназначенные для:

- получения в условиях лаборатории излучения требуемого спектрального и поляризационного состава в диапазоне 1–10 мкм;
- проверки фактических характеристик новых оптических приборов в ИК-диапазоне;
- получения исходных данных, необходимых для разработки методик обнаружения различных природных объектов в ИК-диапазоне при помощи дистанционных методов в натуральных условиях, в том числе с использованием поляризационных измерений;
- проведения спектральных исследований различных природных объектов в лабораторных условиях с целью построения соответствующих баз данных в ИК-диапазонах.

Важно отметить, что эффективность и качество работы оптических приборов для ДЗЗ существенным образом зависит от качества технологий и проводимых мероприятий по разработке, изготовлению, тестированию и проведению лабораторных исследований. В этой цепи мероприятий важная роль принадлежит наземной оптической и радиометрической калибровке, как в методическом, так и в технологическом аспектах.

В Беларуси в настоящее время находятся в эксплуатации и разработке многоспектральные инфракрасные (ИК) оптические приборы различного назначения (мониторинга чрезвычайных ситуаций, а также гидрометеорологического, природно-ресурсного, экологического мониторинга и т.д.), которые могут обеспечить отечественных потребителей и научное сообщество независимыми данными ДЗЗ с авиационной и космической платформ в диапазоне спектра от 1 до 12 мкм.

Так как ИК излучение избирательно поглощается атмосферой Земли, то для решения задач ДЗЗ в ИК-диапазоне используются окна прозрачности в интервалах 0.74–2.40, 3.40–4.20, 8.0–12.0 мкм. При этом средний ИК-диапазон (3.55–3.93 мкм) используется для обнаружения и классификации горячих точек, включая обнаружение пожаров, определение их контролируемых параметров и мониторинг тепловых аномалий. Другие приложения включают определение контролируемых параметров лесных пожаров при мониторинге послепожарной обстановки, обнаружение лесных вырубок, очагов сжигания биомассы и оценку биофизических свойств леса. Средний ИК-диапазон позволяет получить четкий

контраст между природными и искусственными объектами, что в свою очередь позволяет корректно оконтурить зоны ЧС для выполнения объективной оценки и принятия верного управленческого решения по их ликвидации.

При этом поляризационные измерения в различных спектральных диапазонах ИК-области применяются для визуализации того или иного целевого объекта. Например, они могут позволить четко выделить и идентифицировать потерявшегося человека на общем фоне окружающей его природы даже если одежда человека в видимом диапазоне на этом фоне практически не выделяется («сливается»). Однако для достижения этой цели необходимо проведение лабораторных исследований свойств конкретного объекта (природного или искусственного) в рабочем спектральном диапазоне, так как у каждого диапазона имеются свои преимущества и недостатки с точки зрения детектирования.

В состав комплекса «ИК-Камея» конструктивно входят:

- блок диффузного излучателя;
- блок монохроматического источника излучения;
- блок эталонного излучателя – высокотемпературное абсолютно черное тело (ВАЧТ);
- блок эталонного излучателя – низкотемпературное абсолютно черное тело (НАЧТ);
- блок поляризации излучения;
- блок регистрации излучения.

Блок диффузного излучателя служит для создания диффузного источника излучения на рабочий спектральный диапазон на основе позолоченной фотометрической сферы с двумя входными портами для ввода излучения и одного выходного порта (рисунок 1). Фотометрическая сфера может быть освещена любым из блоков осветителей: блок светодиодных излучателей или блок широкополосных источников излучения. В качестве широкополосных источников излучения выступает нагретая нихромовая спираль. Блок светодиодных излучателей состоит из ряда ИК-светодиодов, работающих в квазипостоянном режиме и излучающих в области 1,0–4,5 мкм. Стабилизация яркости осуществляется контролем протекающего через светодиод тока.

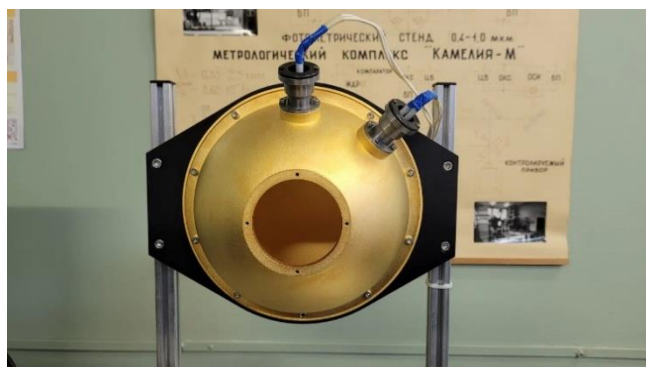
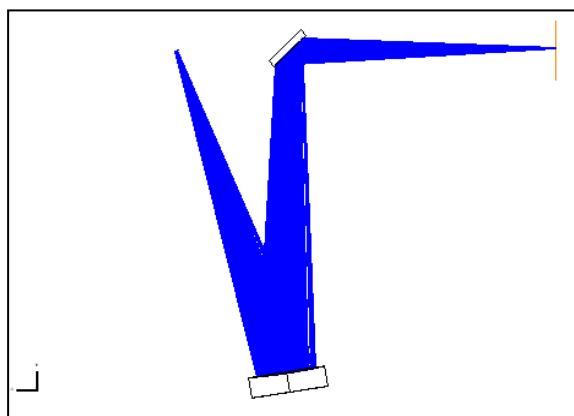


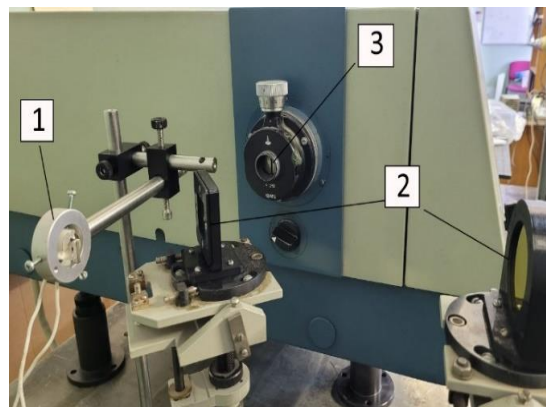
Рисунок 1. – Блок диффузного излучателя

Блок монохроматического источника излучения (рисунок 2) используется для выделения из сплошного спектра монохроматических линий на основе мо-

нохроматора МДР-23 с дифракционной решеткой, имеющей 75 штрихов/мм. Блок конструктивно состоит из монохроматора и системы освещения монохроматора (рисунок 2 а). Система освещения состоит из инфракрасного излучателя в виде нагретой нихромовой ленты шириной 3 мм и вогнутого зеркала, фокусирующего изображение излучателя на входную щель монохроматора (рисунок 2 б). Путем изменения ширины регулируемой щели монохроматора можно влиять на интенсивность и ширину монохроматической линии.



а



б

а – оптическая схема системы освещения монохроматора; б – общий вид блока монохроматического источника излучения: 1 – лента накаливания, 2 – зеркала, 3 – входная щель монохроматора.

Рисунок 2. – Блок монохроматического источника излучения

Блок поляризации излучения (рисунок 3) служит для создания потока излучения в видимом и ИК-диапазонах спектра требуемой поляризации на основе поляризатора излучения– призмы Рошона.

Призма Рошона состоит из двух призм из двулучепреломляющего материала, которые склеены вместе. Устройство генерирует два параллельных ортогонально поляризованных луча из неполяризованного входа. Материал призмы – MgF<sub>2</sub>. Рабочий диапазон – от 0,4 мкм до 8,0 мкм. Шаговый двигатель устанавливает ось поляризации кристалла в трех положениях 0°, 45°, 90°.

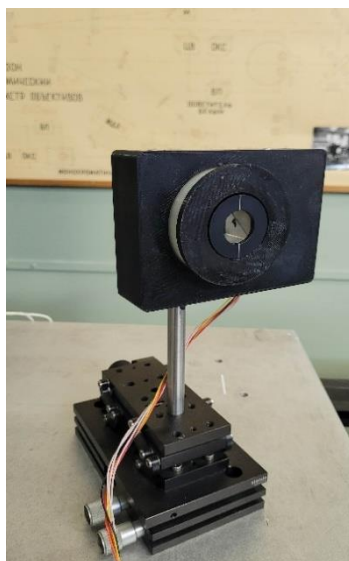
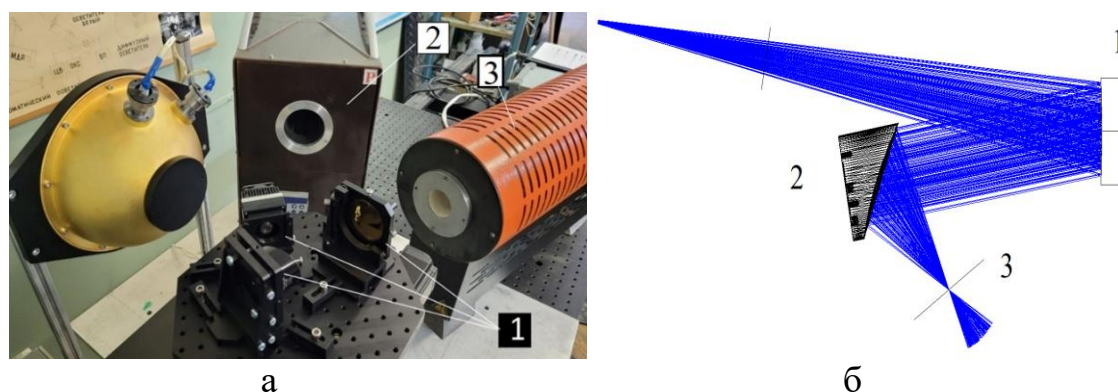


Рисунок 3. – Блок поляризации излучения

Блок регистрации излучения (рисунок 4) служит для детектирования излучения и оценки его интенсивности на основе сменных одноэлементных детекторов на диапазоны 1 – 6,5 мкм и 1 – 10 мкм.



а – общий вид комплекса: 1 –спектрозональный детектор с системой фокусирующих зеркал на поворотной платформе; 2 – НАЧТ; 3 – ВАЧТ;  
 б – оптическая схема блока регистрации: 1 – сферическое зеркало; 2 – параболическое зеркало; 3 – спектрозональный детектор;  
 Рисунок 4. – Блок регистрации излучения

Система регистрации расположена на поворотной платформе с высокой точностью наведения. Для отслеживания текущего угла поворота платформы используется абсолютный энкодер. В качестве моторизованной поворотной платформы использована платформа Standa 8MR190-90-59. Спектрозональный детектор представляет собой охлаждаемый HgCdTe-детектор со сменными интерференционными светофильтрами ИК-диапазона.

ВАЧТ и НАЧТ способны воспроизводить заданную температуру в диапазоне от – 30°С до +1100°С.

ВАЧТ представляет собой излучатель в виде модели абсолютно черного тела АЧТ-45/100/1100 второго разряда и предназначен для настройки и градуировки средств бесконтактного измерения температуры в диапазоне температур от 300 до 1100°С в лабораторных условиях. Электропитание осуществляется от однофазной сети переменного тока с напряжением (220±22) В, частотой (50±0,5) Гц. Основные технические характеристики ВАЧТ приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Технические характеристики ВАЧТ

Наименование параметра, ед. измерения	Значения
диапазон воспроизводимых температур, °С	300 – 1100
диаметр выходного отверстия, мм	45
расстояние от переднего торца печи до излучающей вставки, мм	425±5
коэффициент излучения полости, не менее	0,99



НАЧТ представляет собой излучатель в виде модели абсолютно черного тела (АЧТ) «Деметра» и предназначен для настройки и градуировки средств бесконтактного измерения температуры (пирометров, линейно-сканирующих пирометров и измерительных тепловизоров) в диапазоне температур от минус 30 до 80 °С в лабораторных условиях. Основные технические характеристики АЧТ «Деметра» представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Технические характеристики АЧТ «Деметра»

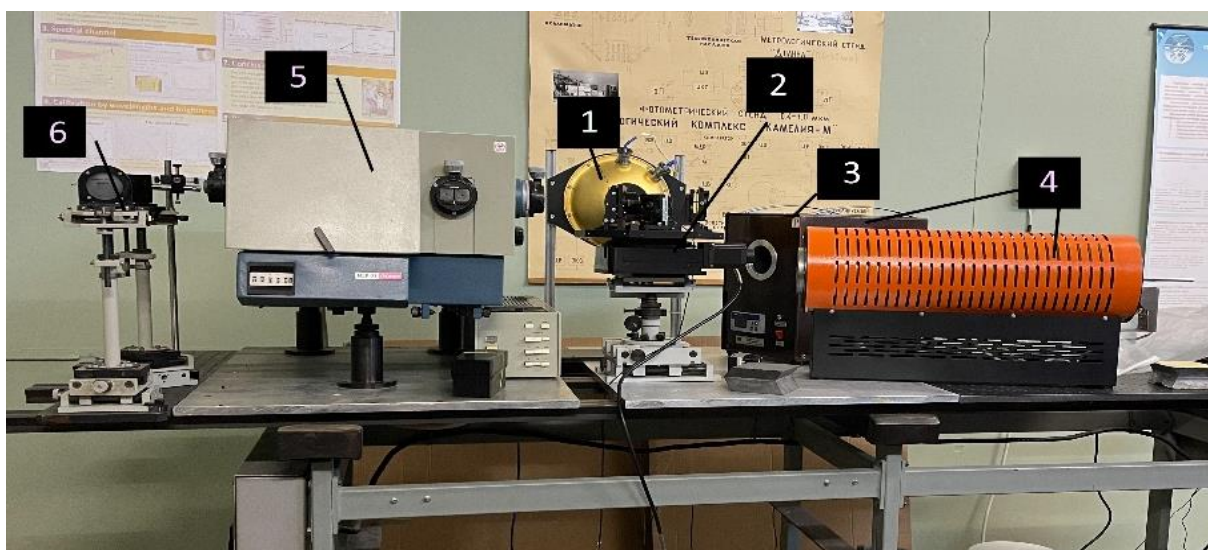
Наименование параметра, ед. измерения	Значения
диапазон воспроизводимых температур, °С	-30...80
доверительная погрешность температуры, °С, не более	1,0...1,28
диаметр входной апертуры, мм	70
эффективная степень черноты излучателя, не менее	0,999
потребляемая мощность, Вт, не более	1200

Основные технические характеристики комплекса «ИК-Камея» представлены в таблице 3.

Таблица 3. – технические характеристики комплекса «ИК-Камея»

Наименование параметра, ед. измерения	Значения
Рабочий спектральный диапазон комплекса, мкм	1,0 – 10,0 мкм
Коэффициент отражения покрытия диффузного источника в области 1,0 – 10,0 мкм, %	не менее 90
Входная апертура калибруемой аппаратуры ДЗЗ, мм	50 – 100

Общий вид комплекса для определения спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ДЗЗ в ИК-диапазоне «ИК-Камея» представлен на рисунке 5.



- 1 – фотометрическая сфера; 2 – поворотная платформа с системой регистрации;  
 3,4 – низкотемпературное и высокотемпературное АЧТ;  
 5 – монохроматор МДР-23; 6 – система освещения монохроматора

Рисунок 5. Общий вид комплекса «ИК-Камея»

## Выводы

1. Для повышения эффективности использования тепловизионной техники при решении задач по обнаружению лесных (торфяных) пожаров, определению их контролируемых параметров, а также поиска людей в условиях ограниченной видимости требуется ее калибровка и разработка соответствующих методик обнаружения различных объектов в ИК-диапазоне при помощи дистанционных методов в натуральных условиях.

2. С целью научного обоснования данных методик необходимо проведение лабораторных исследований природных и искусственных объектов, в том числе с использованием поляризационных измерений, основанных на выявлении закономерностей и получении зависимостей спектрально-поляризационных характеристик объекта от его конкретных особенностей и условий окружающей среды.

3. Для определения спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ДЗЗ и получения излучения, требуемого спектрального и поляризационного состава в ИК-диапазонах для наладки, исследований параметров и калибровки приборов ДЗЗ наземного и аэрокосмического базирования разработан отечественный комплекс «ИК-Камея», способный решать широкий круг задач в лабораторных условиях, в том числе для нужд МЧС Республики Беларусь.

## Заключение

Таким образом, разработанный отечественный комплекс для определения спектрально-поляризационных параметров аппаратуры ДЗЗ в ИК-диапазоне «ИК-Камея» позволяет в лабораторных условиях получать излучения требуемого спектрального и поляризационного состава в диапазоне 1–10 мкм, а также исходные данные для разработки методик обнаружения природных и искусственных объектов в ИК-диапазоне, в том числе с использованием поляризационных измерений, проводить их спектрально-поляризационные исследования и проверять в ИК-диапазоне характеристики новые оптические приборы. С помощью комплекса возможно повышение эффективности использования тепловизионной аппаратуры для определения контролируемых параметров лесных (торфяных) пожаров, поиска людей в условиях ограниченной видимости путем ее калибровки и разработки научно-обоснованных методик обнаружения и идентификации заданных объектов, в том числе с проведением необходимых спектрально-поляризационных исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Смагин М.С. Применение тепловизоров для решения пожарно-спасательных задач. Учебно-методическое пособие. 2021. 56 с. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/295074334\\_Primenenie\\_teplovizorov\\_dla\\_resheniya\\_pozarno-spasatelnyh\\_zadac](https://www.researchgate.net/publication/295074334_Primenenie_teplovizorov_dla_resheniya_pozarno-spasatelnyh_zadac) Obnovlennaa\_versia\_na\_2021\_god

2. Сизиков, А. С. Способы повышения эффективности авиационного мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с использованием технических средств дистанционного зондирования Земли



(ДЗЗ) / А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2023. – № 1(78). – С. 52–62.

3. Жилкин Б.П. Совершенствование методов поиска людей в условиях ограниченной видимости / Б. П. Жилкин, М. М. Шевелев, А. В. Ефимова, Е. А. Плесняев, С. Г. Алексеев // Пожаровзрывобезопасность. - 2012. - № 5. - С. 61-62.

4. Цикман, И. М. Калибровка тепловизионной камеры авиационной системы «АВИС» / И. М. Цикман, Ю. В. Беляев, А. С. Сизиков // Метрология и приборостроение. – 2016. – № 2(72). – С. 33–36.

5. Сизиков, А. С. Видеоспектральные методы и средства мониторинга контролируемых параметров лесных пожаров и аварий, связанных с разливом нефтепродуктов / А. С. Сизиков, Ю. В. Беляев, И. М. Цикман, А. П. Попков // Приборы и методы измерений. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 62–70.

## REFERENCES

1. Smagin M.S. Primeneniye teplovizorov dlya resheniya pozharno-spatatel'nykh zadach. Uchebno-metodicheskoye posobiye. 2021. 56 s. Elektronnyy resurs. Rezhim dostupa:

[https://www.researchgate.net/publication/295074334\\_Primeneniye\\_teplovizorov\\_dla\\_reseniya\\_pozharno-spatatelnykh\\_zadac\\_Obnovlennaa\\_versia\\_na\\_2021\\_god](https://www.researchgate.net/publication/295074334_Primeneniye_teplovizorov_dla_reseniya_pozharno-spatatelnykh_zadac_Obnovlennaa_versia_na_2021_god)

2. Sizikov, A. S. Sposoby povysheniya effektivnosti aviatsionnogo monitoringa chrezvychaynykh situatsiy prirodnoho i tekhnogennogo kharaktera s ispol'zovaniyem tekhnicheskikh sredstv distantsionnogo zondirovaniya Zemli (DZZ) / A. S. Sizikov, YU. V. Belyayev, I. M. Tsikman // Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta. – 2023. – № 1(78). – S. 52–62.

3. Zhilkin B.P. Sovershenstvovaniye metodov poiska lyudey v usloviyakh ogranichennoy vidimosti / B. P. Zhilkin, M. M. Shevelev, A. V. Yefimova, Ye. A. Plesnyayev, S. G. Alekseyev // Pozharovzryvobezopasnost'. - 2012. - № 5. - S. 61-62.

4. Tsikman, I. M. Kalibrovka teplovizionnoy kamery aviatsionnoy sistemy «AVIS» / I. M. Tsikman, YU. V. Belyayev, A. S. Sizikov // Metrologiya i priborostroyeniye. – 2016. – № 2(72). – S. 33–36.

5. Sizikov, A. S. Videospektral'nyye metody i sredstva monitoringa kontroliruyemykh parametrov lesnykh pozharov i avariyy, svyazannykh s razlivom nefteproduktov / A. S. Sizikov, YU. V. Belyayev, I. M. Tsikman, A. P. Popkov // Pribory i metody izmereniy. – 2023. – Т. 14, № 1. – S. 62–70.

