

Сизиков А.С./Sizikov A.S.^{a) *}; канд. техн. наук Беляев Ю.В./Beliaev Y.V., Ph.D.^{b)};
канд. техн. наук Цикман И.М./Tsykman I.M., Ph.D.^{b)}

^{a)} Учреждение „Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций” МЧС Республики Беларусь / The Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Research Institute of Fire Safety and Emergencies;

^{b)} Научно-исследовательское учреждение „Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко” БГУ, Минск / Institute of Applied Physical Problems of A.N. Sevchenko of Belarus State University

*Corresponding author: niipb@mchs.gov.by

Создание отечественного комплекса „Визир” для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов

The Creation of the “Vizir” National Complex for the Measurement of the Spectropolarization Characteristics of Two-Directional Radiant Reflectivity and Brightness of Natural and Artificial Objects

Stworzenie krajowego kompleksu „Wizir” dla pomiarów dwukierunkowych współczynników polaryzacji odbicia i luminancji obiektów naturalnych i sztucznych

АННОТАЦИЯ

Цель: В статье приводится обоснование, целесообразность и основные результаты разработки отечественного комплекса «Визир» для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов, а также приводятся его назначение, состав и основные технические параметры.

Введение: В рамках реализации задания „Разработка комплекса для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов” Государственной научно-технической программы „Эталоны и научные приборы” в 2016 – 2018 годах работниками отдела аэрокосмических исследований НИИПП им. А.Н. Севченко БГУ совместно с НИИ ПБиЧС МЧС Республики Беларусь успешно ведется разработка соответствующего комплекса „Визир”.

Выводы: В рамках проведенных работ: осуществлен обзор зарубежных гониометрических установок, используемых для измерения двунаправленного коэффициента отражения; обоснована необходимость разработки отечественной модели комплекса для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов с более расширенными возможностями по сравнению с существующими зарубежными аналогами, в том числе за счет возможности использования поляризационных насадок, позволяющих проводить поляризационные измерения; приведены предварительные результаты работ по созданию нового отечественного комплекса «Визир» для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов; указан окончательный уточненный состав разрабатываемого комплекса и определены основные технические требования к нему.

Значение для практики: Применительно к деятельности МЧС Республики Беларусь, создаваемый комплекс «Визир» позволяет: существенно повысить возможность проведения корректной и качественной тематической обработки получаемых информационных данных; повысить точность определения параметров объектов дистанционного мониторинга, в том числе в зонах чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; учитывать последствия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также последствия антропогенного воздействия на природные объекты и экологическую безопасность; обеспечить совершенствование, актуализацию и расширение имеющейся базы стеновых измерений спектральных, энергетических и геометрических характеристик аэрокосмических систем дистанционного зондирования.

Ключевые слова: эталонный образец, авиакосмический мониторинг, чрезвычайные ситуации, спектрорадиометр, спектральные характеристики, загрязнения, нефтепродукты, контролируемые параметры чрезвычайных ситуаций

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 14.04.2018; Рецензирована: 27.06.2018; Одобрена: 05.07.2018;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Идентификаторы ORCID авторов: A.S. Sizikov – 0000-0002-7410-713X; Y.V. Beliaev – 0000-0001-8767-9201; I.M. Tsykman – 0000-0003-1618-3860;

Просим ссылаться на статью следующим образом: ВіТП Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 28–37, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.2;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Objective: The article provides the substantiation, reasonability and main results of developing the «Vizir» national complex for the measurement of the spectropolarization characteristics of two-directional radiant reflectivity and brightness of natural artificial objects. Its purpose, structure and main technical parameters are also given.

Introduction: A complex for the measurement of the spectropolarization characteristics of two-directional radiant reflectivity and brightness of natural artificial objects was developed within the framework of the State scientific and technical programme, entitled "Standards and scientific instruments", in 2016-2018 by employees of the Department of Aerospace Studies Institute of Applied Physical Problems of A.N. Sevchenko of Belarus State University, in cooperation with the Research Institute of Fire Safety and Emergencies.

Summary: As part of the work, the literature regarding goniometric installations, used to measure bidirectional reflectance, was reviewed; the need to develop a national complex for the measurement of the spectropolarization characteristics of two-directional radiant reflectivity and brightness of natural artificial objects, provided with more advanced features as compared to the existing foreign analogues, was proven, allowing to carry out polarization measurements; preliminary results of the work connected with establishing the "Vizir" national complex for the measurement of the spectropolarization characteristics of two-directional radiant reflectivity and brightness of natural artificial objects were presented; the final structure of the developed complex was specified; and the basic technical requirements were defined.

Practical implications: In relation to the activity of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, the "Vizir" complex makes it possible to essentially increase the abilities related to the correct and high-quality thematic processing of the received information and data; to improve the accuracy of determining the parameters of remote monitoring objects, including zones of emergency situations of natural and technology-related character to take into account the consequences of natural and man-made emergencies, as well as the consequences of the anthropogenic impact on natural objects and environmental safety; and to ensure improvements, updating and expansion of the existing base of bench measurements of the spectral, energy and geometric characteristics of aerospace remote sensing systems.

Keywords: reference sample, aerospace monitoring, emergency situations, spectroradiometer, spectral characteristic, pollution, oil product, testing parameters of emergency situations.

Type of article: original scientific article

Received: 14.04.2018; Reviewed: 27.06.2018; Accepted: 05.07.2018;

The authors contributed equally to this article;

Authors' ORCID IDs: A.S. Sizikov – 0000-0002-7410-713X; Y.V. Beliaev – 0000-0001-8767-9201; I.M. Tsykman – 0000-0003-1618-3860;

Please cite as: BiTP Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 28–37, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.2;

This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: W artykule przywołano uzasadnienie, celowość i główne rezultaty opracowania krajowego kompleksu „Wizir” dla pomiarów dwukierunkowych współczynników polaryzacji odbicia i luminancji obiektów naturalnych i sztucznych, a także jego przeznaczenie, skład i podstawowe parametry techniczne.

Wprowadzenie: W ramach realizacji zadania „Opracowanie kompleksu dla pomiarów dwukierunkowych współczynników polaryzacji odbicia i luminancji obiektów naturalnych i sztucznych” Państwowego Naukowo-Technicznego Programu „Wzorce i przyrządy naukowe” w latach 2016–2018 pracownicy wydziału badań przestrzeni powietrznej i kosmicznej Instytucji Naukowo-Badawczej – Instytutu Fizycznych Problemów Stosowanych im. A.N. Sewczenko Państwowego Uniwersytetu Białorusi wraz z Instytutem Naukowo-Badawczym Bezpieczeństwa Pożarowego i Problemów Sytuacji Nadzwyczajnych Ministerstwa Sytuacji Nadzwyczajnych Republiki Białorusi prowadzą pomyślne opracowanie odnośnego kompleksu „Wizir”.

Wnioski: W ramach przeprowadzonych prac: dokonano przeglądu zagranicznych instalacji goniometrycznych, wykorzystywanych do pomiarów dwukierunkowego współczynnika odbicia; uzasadniono konieczność opracowania krajowego modelu kompleksu do pomiarów dwukierunkowych współczynników polaryzacji odbicia i luminancji obiektów naturalnych i sztucznych z rozszerzonymi możliwościami w porównaniu z już istniejącymi zagranicznymi odpowiednikami, w tym dzięki możliwości wykorzystania polaryzacyjnych nasadek, pozwalających przeprowadzać pomiary polaryzacyjne; przytoczono wstępne rezultaty prac w kwestii utworzenia nowego krajowego kompleksu „Wizir” do pomiarów dwukierunkowych współczynników polaryzacji odbicia i luminancji obiektów naturalnych i sztucznych; wskazano ostateczny uściślony skład opracowywanego kompleksu i określono jego podstawowe wymogi techniczne.

Znaczenie dla praktyki: Odnośnie działalności Ministerstwa Sytuacji Nadzwyczajnych Republiki Białorusi tworzony kompleks „Wizir” pozwala: znacząco zwiększyć możliwość przeprowadzenia poprawnego i jakościowego tematycznego opracowania otrzymywanych danych informacyjnych; zwiększyć dokładność określania parametrów obiektów zdalnego monitoringu, w tym w strefach sytuacji nadzwyczajnych o charakterze naturalnym i technogenicznym; uwzględnić skutki sytuacji nadzwyczajnych o charakterze naturalnym i technogenicznym, a także skutki antropogenicznego oddziaływania na obiekty przyrodnicze i bezpieczeństwo ekologiczne; zapewnić doskonalenie, aktualizację i poszerzenie posiadanej bazy pomiarów stanowisk spektralnych, energetycznych i geometrycznych charakterystyk systemów zdalnego sondowania przestrzeni powietrznej i kosmicznej.

Słowa kluczowe: wzorcowy typ, monitoring przestrzeni powietrznej i kosmicznej, nadzwyczajne sytuacje, spektromiometr, spektralne charakterystyki, zanieczyszczenia, produkty naftowe, kontrolowane parametry sytuacji nadzwyczajnych

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 14.04.2018; Zrecenzowany: 27.06.2018; Opublikowany: 05.07.2018;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;

Identyfikatorzy ORCID autorów: A.S. Sizikov – 0000-0002-7410-713X; Y.V. Beliaev – 0000-0001-8767-9201; I.M. Tsykman – 0000-0003-1618-3860;

Proszę cytować: BiTP Vol. 50 Issue 2, 2018, pp. 28–37, doi: 10.12845/bitp.50.2.2018.2;

Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Введение

Обеспечение функционирования системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера является одним из основных направлений деятельности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. Значительную роль в данном процессе выполняют аэрокосмические системы дистанционного зондирования земной поверхности [1].

Для тематической обработки информационных данных, получаемых посредством аэрокосмических систем дистанционного зондирования, особое значение имеет база данных по коэффициентам спектральной яркости (отражения) различных естественных и искусственных поверхностей. С ее помощью возможно распознавание и определение параметров регистрируемых объектов съемки (контролируемых параметров чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера). С этой целью была проведена НИР по теме «Подготовить эталонные образцы загрязнений поверхности Земли, возникающих вследствие ЧС, и осуществить лабораторные измерения их спектральных характеристик», в ходе которой получены определенные результаты [2]. При этом были определены направления совершенствования существующих гониометрических установок, на которых проводились исследования в рамках данной НИР. В частности, определена необходимость разработки специального комплекса для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов, что позволит существенно повысить возможность проведения корректной и качественной тематической обработки получаемых информационных данных, точность определения параметров объектов дистанционного мониторинга, в том числе в зонах чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [3].

Спектральные характеристики объектов

При дистанционном зондировании Земли крайне важны как проведение полетных калибровок, так и повышение достоверности тематической классификации. Это возможно лишь при условии наличия высокоточных и максимально полных данных по спектрально-отражательным характеристикам объектов, в частности на современном этапе обработки и использования данных имеется насущная необходимость в измерениях коэффициентов отражения и спектральной яркости (КСЯ) разнообразных естественных и искусственных поверхностей.

Спектральные характеристики объектов являются ключевыми при выборе рабочего спектрального диапазона гиперспектральных бортовых сенсоров, интерпретации космических снимков, классификации природных поверхностей. Поэтому получение и сохранение новой спектральной информации об объектах является весьма важной задачей. Имеющаяся как в России, так и в Беларуси база

стендовых измерений спектральных, энергетических и геометрических характеристик аэрокосмических систем дистанционного зондирования, с одной стороны, не в полной мере удовлетворяет современным требованиям, а с другой стороны база спектральных данных объектов совершенно недостаточна [4].

Наиболее общей характеристикой отражения, используемой при тематической обработке в дистанционном зондировании является двунаправленный коэффициент отражения r , зависящий как от углов падения (зенитного – θ_0 и азимутального – φ_0), так и от углов отражения (θ , φ) и определяемый формулой (1):

$$r = \frac{I(\theta, \varphi)}{I_0(\theta_0, \varphi_0)} \quad (1)$$

где $I(\theta, \varphi)$ – интенсивность излучения, отраженного поверхностью в направлении (θ, φ).

$I_0(\theta_0, \varphi_0)$ – интенсивность падающего излучения в направлении (θ_0, φ_0).

В силу произвольности выбора отсчета азимута, физическая величина (двунаправленный коэффициент отражения) не может зависеть от его абсолютного значения. Обычно полагают $\varphi_0 = 0$, т.е. отсчитывают все азимуты от азимута падения. Поэтому двунаправленный коэффициент отражения есть функция трех переменных: $r(\theta, \varphi, \theta_0)$. Тогда выражение (1) принимает вид (2):

$$r(\theta, \varphi, \theta_0) = \frac{I(\theta, \varphi)}{I_0(\theta_0)} \quad (2)$$

Помимо коэффициента отражения, оптическую отражательную способность объектов принято характеризовать их яркостью. Яркость объектов (отражающих падающее излучение) в разных спектральных зонах регистрации датчиками неодинакова. Наиболее информативным параметром при дистанционном зондировании различных объектов является коэффициент спектральной яркости. Совокупность коэффициентов яркости объекта по разным направлениям изображают графически в виде полярной диаграммы – индикатрисы отражения.

Основной путь изучения спектральных отражательных характеристик – экспериментальный. Коэффициенты спектральной яркости и индикатрисы отражения получают на основе абсолютных или относительных измерений, выполняемых с помощью спектрорадиометров. Наиболее распространенная методика относительного спектрометрирования базируется на формуле

$$R(\lambda) = \frac{L(\lambda)}{L_0(\lambda)} \quad (3)$$

где $L(\lambda)$ и $L_0(\lambda)$ – спектральные яркости объекта и эталона. Помимо измерения излучения от исследуемого объекта необходимо также зарегистрировать излучение от эталона; при этом объект и эталон должны находиться при одинаковых условиях освещения (при одинаковом зенитном угле падения). В качестве эталона применяют материалы с хорошо известными и стабильными во времени оптическими ортотропными отражательными характеристиками

(молочные стекла, как образец Ламбертовского отражателя).

Измеряя спектральную плотность энергетической яркости (СПЭЯ) отраженного излучения от различных образцов и эталона, размещенных на поворотном столике разрабатываемого комплекса при углах θ , θ_0 , φ , можно будет определять двунаправленный коэффициент спектральной яркости $R(\lambda, \theta, \varphi)$ аналогично формуле (2), получать индикатрисы отражения и КСЯ, изучая при этом степень анизотропии отраженного от объекта излучения, являющейся характеристикой различных объектов.

Краткий обзор зарубежных гониометрических установок

Приведем несколько зарубежных гониометрических установок, используемых для измерения двунаправленного коэффициента отражения [5].

Одним из наиболее известных гониометров полевого типа является Швейцарский полевой гониометр (FIGOS), разработанный компанией Lehner & CO AG Gränichen, Швейцария (рисунок 1) [6–7].



Рисунок 1. Швейцарский полевой гониометр (FIGOS) [6–7]

Figure 1. Swiss field goniometer (FIGOS) [6–7]

Существующая модификация устройства – LAGOS, выполнена с теми же особенностями конструкции, что и FIGOS, но с одним спектрорадиометром (ASD FieldSpec-3) для измерения в лабораторных условиях. LAGOS применяется для лабораторных измерений вместе с источником освещения в виде кварцевой галогенной лампы 1000 Вт.

Не менее известна гониометрическая система, разработанная в National Physical Laboratory (NPL), Teddington, UK. Комплекс GRASS (Gonio Radiometric Spectrometer System) предназначена для измерения отраженного солнечного излучения под различными углами с интервалом в 30 градусов (рисунок 2) [8–9].

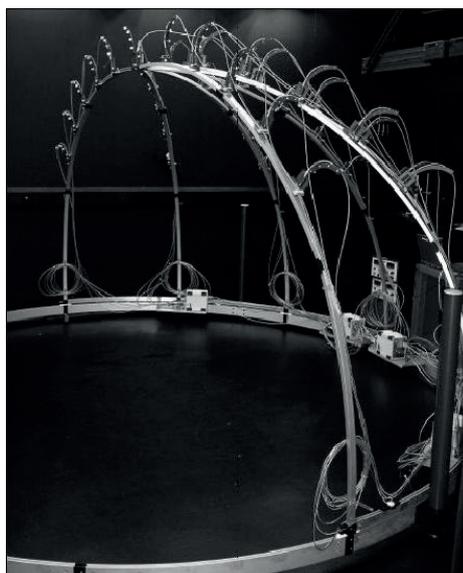


Рисунок 2. Конструкция гониометрической системы GRASS [8–9]

Figure 2. Construction of the goniometric GRASS system [8–9]

RESEARCH AND DEVELOPMENT

Известна также установка, выполненная в лаборатории геоинформации и дистанционного зондирования, Университет Wageningen Нидерланды, в которой

измерения осуществляются с помощью манипулятора-робота, доступного в коммерческой продаже (рисунок 3) [10].

а



б



Рисунок 3. Лабораторная установка с манипулятором-роботом [10]

Figure 3. Laboratory facility with a manipulation robot [10]

Лабораторные измерения рассмотренными системами обеспечивают лучший контроль за условиями освещения, также условия съемки в затененной комнате позволяют пренебрегать рассеянным светом. С другой стороны, в лабораторных условиях обеспечивается коническая форма потока искусственного освещения, что ведет к неоднородности освещаемой области, и, следовательно, к необходимости корректировки получаемых данных.

При разработке отечественного комплекса лабораторного типа была предложена оригинальная конструкция на основе использования кран-штативов для перемещения источника освещения и измерительного модуля в вертикальной плоскости.

Разработан источник освещения на основе 1000 Вт лампы, формирующий коллимированный поток излучения.

Источник излучения будет иметь возможность наклона к центральной площадке под различными углами для наибольшего подобия к естественным условиям освещения. В центре установки на лабораторном столе с возможностью вращения будут помещаться различные объекты. Например, участок травяного покрытия с нефтяным загрязнением, либо с загрязнением от нефтепродуктов. Что особенно важно, использование поляризационных насадок позволит проводить поляризационные измерения, возможность которых отсутствует в известных зарубежных аналогах.

Модель использования кран-штативов для перемещения источника излучения и блока спектрометров представлена на рисунке 4.

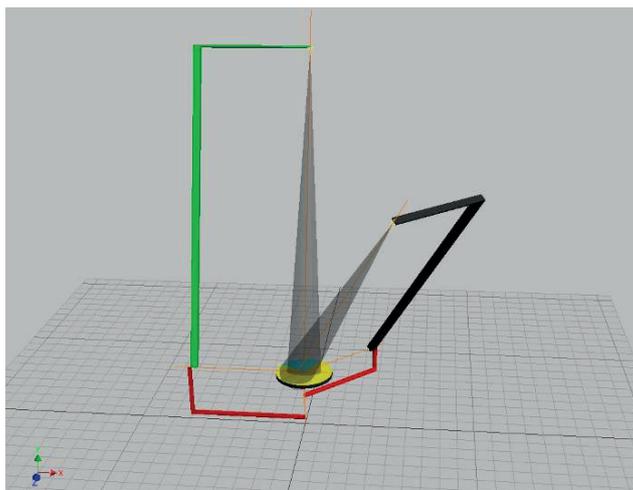


Рисунок 4. 3D-схема качания по зенитным углам кран-штативов с датчиками считывания углов на оси вращения (оси качания кран-штативов показаны тонкими оранжевыми линиями, кронштейны крепления штанг кран-штативов – красными)

Figure 4. A 3D diagram of swing after zenith angles of camera cranes with angle reading sensors on the axis of rotation (axis of oscillation of crane-tripods are shown by means of orange lines, mounting brackets rods crane tripods by means of red)

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

Основная часть

Работниками отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ совместно с НИИ ПБиЧС МЧС Республики Беларусь в рамках реализации задания «Разработка комплекса для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов» Государственной научно-технической программы «Эталоны и научные приборы» в 2016–2018 годах успешно ведется разработка соответствующего комплекса [4].

Целью работы является создание комплекса «Визир», позволяющего моделировать условия проведения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с авиационных и космических носителей и повышать достоверность тематической классификации данных ДЗЗ об объектах в видимом и ближнем ИК диапазонах – 350–2500 нм.

Таким образом, комплекс обеспечивает в лабораторных условиях моделирование реальных объектов ЧС (разливы нефтепродуктов, утечки аварийно химически опасных веществ (АХОВ), последствия огневого (термического) воздействия на лесные и сельскохозяйственные угодья, потенциально пожароопасные места выхода на поверхность земли торфяных залежей и др.), получение их спектральных характеристик для верификации данных ДЗЗ чрезвычайных ситуаций. Благодаря этому повышается достоверность данных мониторинга зон ЧС, а также возможность их прогнозирования.

Использование результатов моделирования, полученных на комплексе «Визир» позволяют:

- повысить оперативность принятия правильного управленческого решения на ликвидацию чрезвычайной ситуации и ее последствий;

- верно оценить складывающуюся оперативную обстановку;
- грамотно осуществить расчет сил и средств для ликвидации чрезвычайной ситуации;
- повысить качество контроля за оперативной обстановкой при проведении аварийно-спасательных работ.

Задачами работы являются:

- измерения при различных углах освещения и визирования;
- коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) разнообразных поверхностей и объектов;
- данных СПЭЯ различных поверхностей и объектов;
- степени поляризации отраженного объектами излучения;
- составление базы данных измеряемых параметров различных поверхностей и объектов [11].

На рис. 5 приведены чертежи создаваемого комплекса. Вращающийся лабораторный стол (в центре установки) предназначен для размещения различных объектов исследований. Например, кюветы с водой и бензином, имитирующей попадание нефтепродуктов в водоисточник, участка травяного покрытия с нефтяным загрязнением, торфяного грунта или фрагментов дерева с термическими повреждениями, полученными вследствие лесного пожара и др.

Важно отметить, что использование при исследованиях поляризационных насадок позволяет проводить поляризационные измерения, возможность которых отсутствует в известных зарубежных аналогах [12].

Рисунок 5а

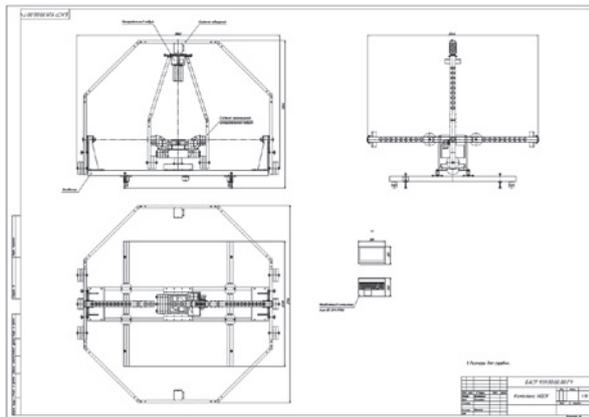


Рисунок 5б

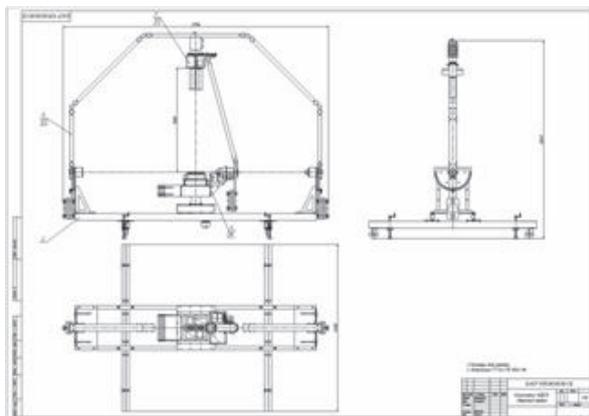


Рисунок 5в

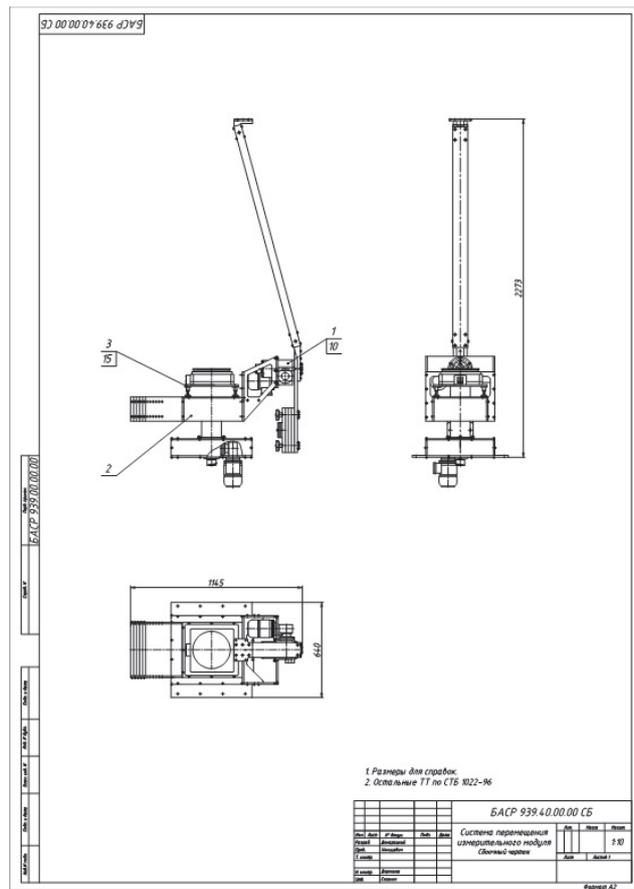


Рисунок 5а. Габаритный чертеж; Рисунок 5б. Сборочный чертеж; Рисунок 5в. Система сканирования измерительного блока
Figure 5a. A dimensional drawing; Figure 5b. Erection drawing; Figure 5c. The system of gage unit searching

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.



Рисунок 6. Внешний вид гониометрической установки «Визир» (с различными углами кран-штатива)

Figure 6. An external view of the "Vizir" goniometer setup (with different angles of the camera crane)

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

Для зенитного сканирования (в вертикальной плоскости) источника освещения и измерительного модуля на основе спектрометров будут использоваться кран – штативы с датчиками считывания углов на оси вращения перемищаемой штанги (рис. 6). Азимутальное сканирование (в горизонтальной плоскости) осуществляется как вращением с помощью шагового двигателя столика с образцом, так и вращением кран – штатива со спектрометрами (рис. 7) при отсутствии вращения коллимированного источника освещения. При этом зенитные углы – θ , θ_0 имеют возможность принимать значения в диапазоне от 5° до 90° , а азимутальный – φ в диапазоне от 0° до 360° .

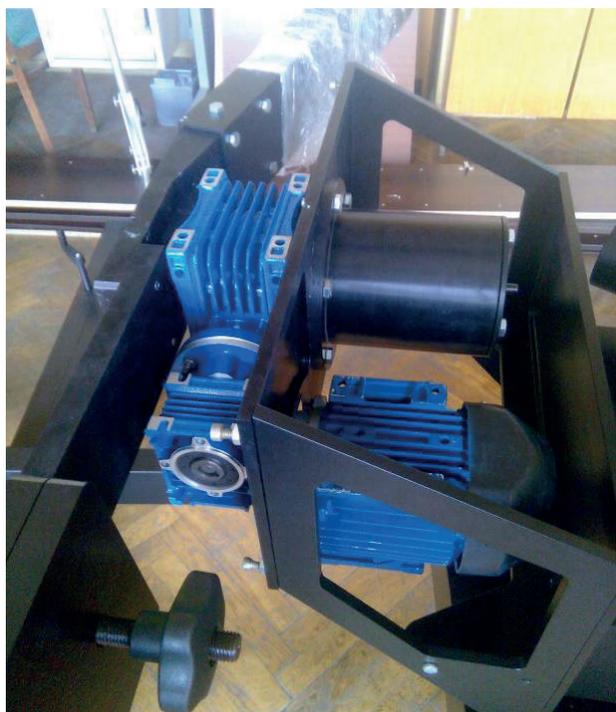


Рисунок 7. Механический двигатель кран – штатива со спектрометрами

Figure 7. Mechanical engine of the camera crane spectrometers

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

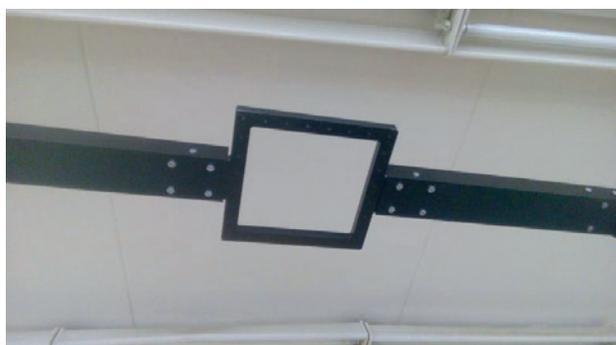


Рисунок 9. Крепление для источника коллимированного излучения

Figure 9. The affixment for emission collimated radiation

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

В состав комплекса «Визир» входят следующие компоненты:

- основание с горизонтальными и вертикальными направляющими и измерительными шкалами (рис. 8);
- источник коллимированного излучения (рис. 9);
- спектрометр ВИД диапазона (350–1050 нм) с поляризатором (рис. 10);
- спектрометр ИК диапазона (1050–2500 нм) (рис. 10);
- эталонный отражатель;
- установочная платформа;
- компьютер;
- конструкторская документация;
- эксплуатационная документация.



Рисунок 8. Узел вертикального крепления кран – штатива с дискретной шкалой

Figure 8. The block of upstanding camera crane with discrete scale

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

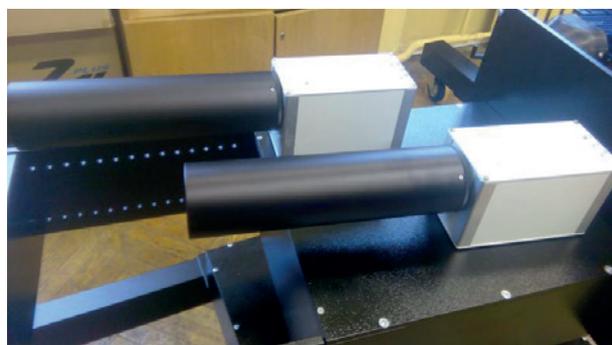


Рисунок 10. Спектрометры ВИД и ИК диапазонов

Figure 10. Spectrometers VIS and IR spectrum

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

Основные технические требования к комплексу приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики комплекса

Table 1. The main technical characteristics of the complex

Технические характеристики / Technical characteristics	Значение /Value
Спектральный диапазон, [нм] /Spectral band, [Nm]	350–2500
Приемники излучения: Radiation receiver для диапазона длин волн 350–1050 нм / for wavelength range 350-1050 Nm для диапазона длин волн 1050–2500 нм / for wavelength range 1050-2500 Nm	Si InGaAs
Спектральное разрешение / Spectral resolution: для диапазона длин волн 350–1050 [нм] for wavelength range 350–1050 [Nm] для диапазона длин волн 1050–2500 [нм] for wavelength range 1050–2500 [Nm]	1,4 1.4 4 4
Время сканирования / scan time мс mc	100
Радиометрическое разрешение, [бит] Radiometric resolution, [bit]	16 16
Усреднение спектра / Averaging the spectrum	Есть / Exists
Устранение темнового тока / Elimination of dark current	Автоматическое / Automatic
Размеры основания / The dimensions of the base:	
Диаметр, [м] / Diameter, [m]	3
Высота, [м] Height, [m]	1,5
Напряжение питания (переменный ток), [В] / Supply voltage (alternating current), [V]	220 ± 22
Угловая точность / Angular accuracy	±0.5°
Наблюдаемая полусфера / the observed hemisphere	нижняя (отраженный свет) / low (indirect light)

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

Подведение итогов

Таким образом, практически завершена разработка нового отечественного комплекса «Визир» для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения природных и искусственных объектов, который превосходит по своим возможностям существующие зарубежные аналоги и не имеет аналогов в странах СНГ и России. Данные, получаемые с помощью этого комплекса, позволяют качественнее использовать данные мониторинга окружающей среды с аэрокосмических носителей, точно измерять контролируемые параметры и учитывать последствия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также последствия антропогенного воздействия на природные объекты и экологическую безопасность.

Современные средства ДЗЗ позволяют проводить измерения объектов в спектральном рабочем диапазоне комплекса «Визир» (350–2500 нм.) с пространственным разрешением от десятков сантиметров до одного метра, что реализуется в конструкции данного комплекса. Спектральное разрешение мультиспектральной и гиперспектральной современной аппаратуры ДЗЗ достигает порядка нанометров в данном рабочем диапазоне измерений, что

хорошо согласуется с реализуемыми параметрами лабораторного комплекса.

После окончательного завершения работ по созданию комплекса «Визир», будут проведены его предварительные испытания, а также лабораторные измерения спектральных характеристик образцов загрязнений поверхности Земли, возникающих вследствие чрезвычайных ситуаций (эталонных образцов) для валидации полученных результатов.

Выводы

Таким образом:

осуществлен обзор зарубежных гониометрических установок, используемых для измерения двунаправленного коэффициента отражения;

обоснована необходимость разработки отечественной модели комплекса для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов с более расширенными возможностями по сравнению с существующими зарубежными аналогами, в том числе за счет возможности

использования поляризационных насадок, позволяющих проводить поляризационные измерения;

приведены предварительные результаты работ по созданию нового отечественного комплекса «Визир» для измерений двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов отражения и яркости природных и искусственных объектов;

указан окончательный уточненный состав разрабатываемого комплекса и определены основные технические требования к нему.

Литература

- [1] Beliaev B.I., Sosenko V.A., Chumakov A.V., Beliaev Yu.V., Sizikov A.S., *Vozmozhnost' ispol'zovaniya aviatsionnoy spektrozonal'noy sistemy «AVIS» dlya distantsionnogo monitoringa ChS*, BiTP Vol. 34 Issue 2, 2014, pp. 105–114.
- [2] Sizikov A.S., Beliaev YU.V., Tsykman I.M., Krot YU.A., *Pasenyuk A.A., Opredeleniye spektral'nykh kharakteristik etalonnykh obraztsov zagryazneniy poverkhnosti zemli, voznikayushchikh vsledstviye chrezvychaynykh situatsiy*, „Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya“ 2015, 2(38), 27–34.
- [3] Sizikov A.S., Beliaev Y.V., Tsykman I.M., Popkov A.P., *Laboratornyye izmereniya spektral'nykh kharakteristik etalonnykh obraztsov zagryazneniya poverkhnosti zemli, voznikayushchikh vsledstviye CHS tekhnogennogo kharaktera, svyazannykh s razlivom (utechkoy) nefteproduktov, Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya: Sbornik nauchnykh trudov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, T. 2, Minsk 2016, 130–142.
- [4] Sizikov A.S., Beliaev Y.V., Tsykman I.M., Krot Y.A., *Pasenyuk A.A., Kompleks dlya izmereniy dvunapravlennykh spektropolyarizatsionnykh koeffitsiyentov otrazheniya prirodnykh i iskusstvennykh ob'yektov*, „Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya“ 2016, 2(40), 22–29.
- [5] Milton E.J., Schaepman M.E., Anderson K., Kneubühler M., Fox N., *Progress in field spectroscopy*, “Remote Sensing of Environment” 2009, 113, 92–109, http://www.geo.uzh.ch/microsite/rsi-documents/research/publications/peer-reviewed-articles/2009_Field-Spectroscopy_RSE_TM-2836619008/2009_FieldSpectroscopy_RSE_TM.pdf [accessed: 01.04.2018].
- [6] Sandmeier S., Sandmeier W., Itten K.I., Schaepman M.E., Kellenberger T.W., *The Swiss Field-Goniometer System (FIGOS)*, <http://www.geo.uzh.ch/fileadmin/files/content/abteilungen/rsi1/Spe1995/IGARSS95.pdf> [accessed: 01.04.2018].
- [7] MAX LEHNER & CO. AG, <http://www.maxlehner.ch/> [accessed: 01.04.2018].
- [8] Gonio Radiometric Spectrometer System (GRASS), <http://www.npl.co.uk/science-technology/earth-observation-climate/facilities/gonio-radiometric-spectrometer-system-grass> [accessed: 01.04.2018].
- [9] Pegrum-Browning H., Fox N., Milton E., *The NPL Gonio Radiometric Spectrometer System (GRASS), Proceedings of The Remote Sensing And Photogrammetry Society Conference 2008 “Measuring change in the Earth system”*, University of Exeter, 15-17 September 2008, http://eprints.soton.ac.uk/63464/1/81_63-81-NPL-GRASS.pdf [accessed: 01.04.2018].
- [10] Peter P.J., Roosjen Jan G.P., Clevers W., Bartholomeus H.M., Schaepman M.E., Schaepman-Strub G., Jalink H., van der Schoor R., de Jong A., *A Laboratory Goniometer System for Measuring Reflectance and Emittance Anisotropy*, “Sensors” 2012, 12(12), 17358–71 https://www.researchgate.net/publication/235740443_A_Laboratory_Goniometer_System_for_Measuring_Reflectance_and_Emittance_Anisotropy [accessed: 01.04.2018].
- [11] Sizikov A.S., Beliaev Y.V., Tsykman I.M., *Kompleks dlya izmereniy dvunapravlennykh spektropolyarizatsionnykh koeffitsiyentov otrazheniya prirodnykh i iskusstvennykh ob'yektov*, Tezisy dokladov XXX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu FGBU VNIPO MCHS Rossii, T. 2, VNIPO 2017, 286–290.
- [12] Sizikov A.S., Beliaev Y.V., Tsykman I.M., *O razrabotke kompleksa dlya izmereniy dvunapravlennykh spektropolyarizatsionnykh koeffitsiyentov otrazheniya prirodnykh i iskusstvennykh ob'yektov*, Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii „Teoriya i praktika tusheniya pozharov i likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy”, Ukraina: Cherkassy, CHIPB im. Geroiv Chornobilya NUTSZ Ukraini, 2017, 246–247.

СИЗИКОВ АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ, начальник организационно-аналитического отдела Учреждения «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь.

БЕЛЯЕВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией оптико-физических измерений, Научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета.

ЦИКМАН ИРИНА МИХАЙЛОВНА, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории оптико-физических измерений, Научно-исследовательского учреждения «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета.