

СОЗДАНИЕ КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДВУНАПРАВЛЕННЫХ СПЕКТРОПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ «ВИЗИР»

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем
имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета,
Минск, Республика Беларусь. remsens@mail.ru

В работе приведены принципы построения, структура комплекса для измерения двунаправленных спектрополяризационных коэффициентов и технические характеристики комплекса.

Создание и ввод в эксплуатацию комплекса «Визир» позволит моделировать условия проведения дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с авиационных и космических носителей в лабораторных условиях. Измерения на комплексе повысят достоверность тематической обработки и классификации данных ДЗЗ в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах длин волн. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью в 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 спектральной яркости (отражения) разнообразных естественных и искусственных поверхностей с различными углами визирования при различных угловых условиях освещения. Спектральные характеристики объектов являются ключевыми при калибровке гиперспектральных бортовых сенсоров, интерпретации космических изображений, классификации природных поверхностей и поверхностей загрязнения, поэтому получение и сохранение спектральной информации является весьма важной задачей [1].

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). Он определяется формулой (1):

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

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

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

$$I(\theta, \varphi) = r(\theta, \theta_0, \varphi) I_0. \quad (2)$$

Измеряя СПЭЯ подающего и отраженного излучения от различных образцов на поворотном столике разрабатываемого комплекса при углах – $\theta, \theta_0, \varphi$ можно будет определять двунаправленный коэффициент отражения r и изучать степень анизотропии отраженного от объекта излучения, характеризующую различные объекты.

Помимо двунаправленного коэффициента отражения данная лабораторная установка позволит проводить поляризационные измерения в спектральной области 400 – 2500 нм. Благодаря использованию поляризатора (поляризационная насадка на основе призмы Глана – Тэйлора), расположенного перед входной апертурой спектрометра регистрирующего модуля будут проводиться измерения степени поляризации по следующей методике. Для каждого угла наблюдения фиксируются сигналы при трех положениях оси поляризационной насадки – $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$.

Степень поляризации определяется в данном случае для каждой длины волны, следующим образом

$$P = \sqrt{Q^2 + U^2} / I, \quad (3)$$

где Q, U, L – параметры Стокса, определяемые по формулам:

$$I = I_0 + I_{90}, Q = I_{90} - I, U = I_0 + I_{90} - 2I_{45}. \quad (4)$$

Для получения характеристик самих отражающих поверхностей необходим диффузный отражатель. В качестве образцового диффузного отражателя будет использоваться пластина молочного стекла MC-20 толщиной 10 мм. На спектр отраженного от MC-20 излучения будут нормироваться спектры отражения исследуемых образцов, получая, таким образом, коэффициент спектральной яркости отражающей поверхности (КСЯ).

Использование подобных гониометрических установок за рубежом имеет место достаточно широко [2-7]. Так одним из наиболее известных гониометров полевого типа является Швейцарский полевой гониометр FIGOS и его лабораторный аналог LAGOS. Не менее известен гониометр, разработанный в National Physical Laboratory (NPL), Teddington, UK. Этот комплекс GRASS (Gonio Radiometric Spectrometer System) предназначен для измерения отраженного солнечного излучения под различными углами с интервалом в 30 градусов. Известна также конструкция гониометра, выполненного в лаборатории геоинформации и дистанционного зондирования, Университет Wageningen Нидерланды, в которой измерения осуществляются с помощью манипулятора-робота, доступного в коммерческой продаже.

В отечественной разрабатываемой установке лабораторного типа планируется взять за основу аналог – гониометр LAGOS и конструкцию гониометра, выполненного в лаборатории геоинформации и дистанционного зондирования Университета Wageningen (Нидерланды). Однако при этом будет разработан такой источник света, который окажется способным давать коллимированный поток излучения различных углов наклона к центральной площадке для наибольшего подобия к естественным условиям освещения. В центре 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 при исследованиях поляризационных насадок позволит проводить поляризационные измерения, возможность которых отсутствует в известных зарубежных аналогах.

Для зенитного сканирования источника освещения и измерительного модуля на основе спектрометров будет использоваться кран – штатив с датчиком считывания углов на оси вращения перемещаемой штанги. Азимутальное сканирование осуществляется как вращением с помощью шагового двигателя столика с образцом, так и вращением кран – штатива со спектрометрами 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°.

В состав разрабатываемого комплекса будут входить:

- основание с системой зенитного и азимутального сканирования;
- измерительный модуль комплекса, состоящий из спектрометра диапазона длин волн 350 – 1050 нм с поляридом, спектрометра диапазона длин волн 1050 – 2500 нм и юстировочного модуля;
- источник коллимированного излучения;
- эталонный отражатель;
- поворотный установочный столик;
- компьютер;
- программное обеспечение;
- конструкторская документация;
- эксплуатационная документация.

Основные технические требования к комплексу приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Основные технические требования к создаваемому комплексу

Спектральный диапазон, нм	350-2500
Приемники излучения:	
для диапазона длин волн 350-1000 нм	Si
для диапазона длин волн 1000-2500 нм	InGaAs
Радиометрическое разрешение, бит	16
Размеры основания:	
Диаметр, м	3
Высота, м	1,5
Напряжение питания (переменный ток), В	220 ± 22
Наблюдаемая полусфера:	нижняя (отраженный свет)

Создание отечественного комплекса будет осуществляться работниками отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ при содействии 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.

Список литературы

1. Сизиков, А.С. Определение спектральных характеристик эталонных образцов загрязнений поверхности земли, возникающих вследствие чрезвычайных ситуаций / А.С. Сизиков, Ю.В. Беляев, И.М. Цикман, Ю.А. Крот, А.А. Пасенюк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2015. – № 2(38) – С. 27–34.
2. Edward J. Milton, Michael E. Schaepman, Karen Anderson, Mathias Kneubühler, Nigel Fox. Progress in field spectroscopy. Remote Sensing of Environment 113 (2009) S92–S109. http://www.geo.uzh.ch/microsite/rsl-documents/research/publications/peer-reviewed-articles/2009_FieldSpectroscopy_RSE_TM-2836619008/2009_FieldSpectroscopy_RSE_TM.pdf
3. Stefan Sandmeier, Willy Sandmeier*, Klaus I. Itten, Michael E. Schaepman, and Tobias W. Kellenberger. The Swiss Field-Goniometer System (FIGOS). <http://www.geo.uzh.ch/fileadmin/files/content/abteilungen/rsl1/Sp1995/IGARSS95.pdf>
4. MAX LEHNER & CO. AG.
5. Gonio Radiometric Spectrometer System (GRASS). <http://www.npl.co.uk/science-technology/earth-observation-climate/facilities/gonio-radiometric-spectrometer-system-grass>
6. Pegrum-Browning, H., Fox, N. and 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.
7. Peter P. J. Roosjen, Jan G. P. W. Clevers, Harm M. Bartholomeus, Michael E. Schaepman, Gabriëla Schaepman-Strub, Henk Jalink, Rob van der Schoor and Arjan de Jong. A Laboratory Goniometer System for Measuring Reflectance and Emittance Anisotropy. Article (PDF Available) in Sensors 12(12):17358-71 December 2012. https://www.researchgate.net/publication/235740443_A_Laboratory_Goniometer_System_for_Measuring_Reflectance_and_Emittance_Anisotropy