

Устройство для измерения индикатрисы отражения

Гаро Мардиросян, Румяна Кынчева

Институт космических исследований БАН

Одной из важнейших проблем дистанционных спектрофотометрических измерений отраженного от земной поверхности излучения является оптимальный выбор информативных дешифровочных признаков. В целях распознавания типа поверхности и определения состояния исследуемых объектов используется информация, закодированная в спектральной и пространственной структуре отраженной ими радиации.

Пространственная структура отраженной радиации включает такую существенную характеристику, как угловую зависимость спектрального коэффициента отражения (СКО), т. е. индикатрису отражения. Исследование анизотропии спектрального отражения дает возможность определения параметров изучаемых объектов, особенно в случаях, когда их яркостные характеристики, измеренные при фиксированном угле наблюдения, схожие [1, 2]. Анализ угловой структуры СКО является дополнительным источником информации об оптических и структурных характеристиках объекта, особенно что касается растительного покрова [8, 9]. Так, например, использование данных об индикатрисе отражения и, в частности, об ее зеркальной компоненте позволяет определение поляризационных характеристик исследуемой поверхности [3]. Со своей стороны, содержащаяся в поляризованном излучении информация зависит от вида растительности и связана с ее физиологическим состоянием и фенологической фазой развития [4].

Повышенные требования максимально эффективного использования дистанционно получаемых данных и их прецизионной интерпретации при анализе состояния исследуемой поверхности приводят к необходимости углубленного знания угловой структуры оптических свойств объектов. В отличие от наземных исследований, пока угловые спектральные характеристики значительно более слабо изучены. Это обусловлено, не в последнюю очередь, аппаратурно-техническими сложностями проведения такого рода наземных и дистанционных измерений.

Важное значение угловой зависимости СКО и недостаточная ее изученность до сих пор определяют актуальность разработки устройства для измерения индикатрисы отражения.

В принципе существуют два подхода к реализации такого устройства. Первая концепция предполагает возможность вращения и соответственно фиксирования спектрометра вокруг его поперечной оси (рис. 1, а). Таким образом оптическая ось спектрометра заключает различные углы с плоскостью исследуемого объекта, причем в поле зрения прибора попадают различные по величине площади различных участков объекта [10], и расстояния между объективом спектрометра и исследуемым участком также различны.

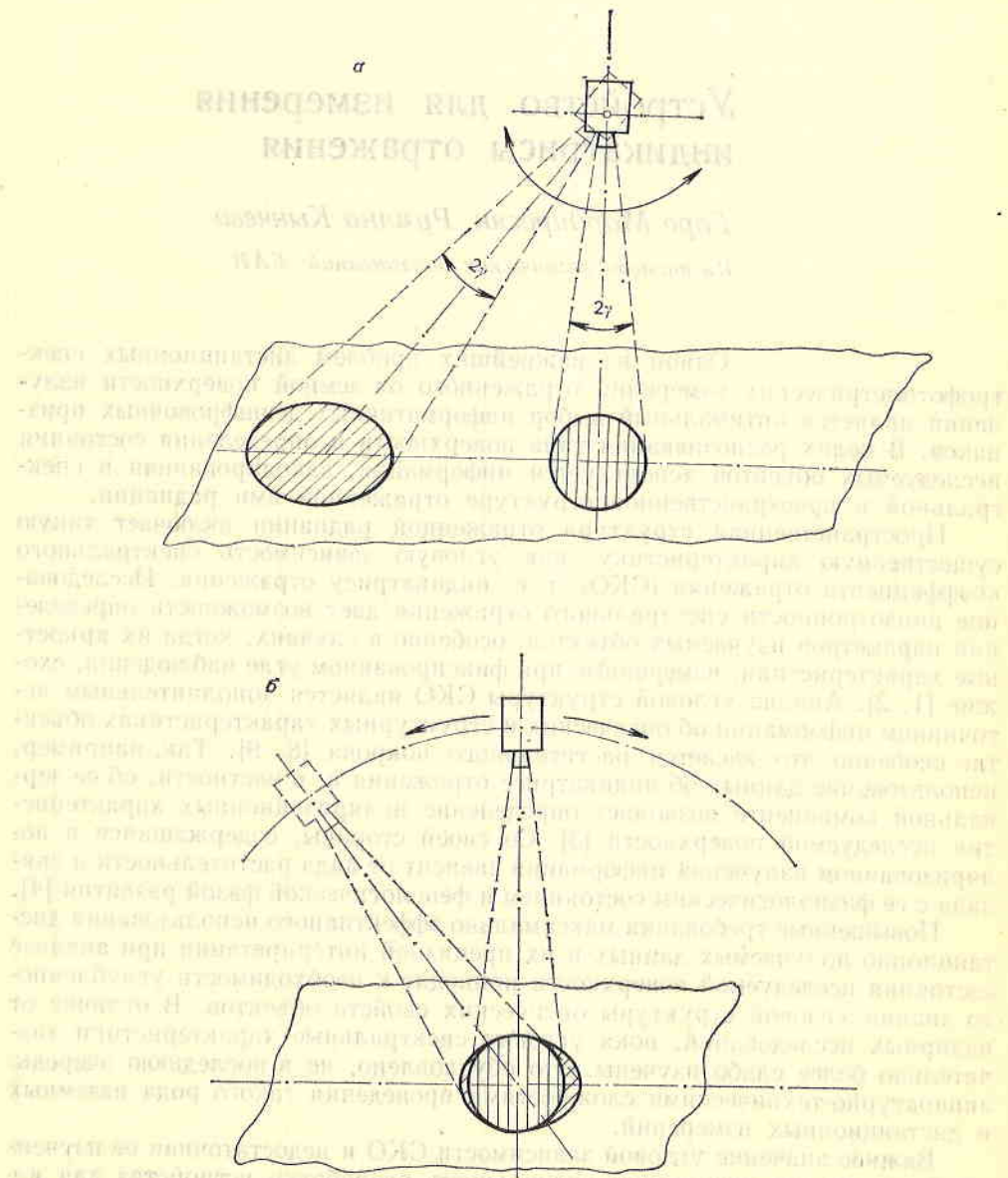


Рис. 1

При втором подходе устройство позволяет движение и соответственно фиксирование спектрометра по дуге, центр которой лежит в плоскости исследуемого объекта. В этом случае оптическая ось спектрометра заключает с объектом различные углы, охватывая различные по величине площади его поверхности, в которые, однако, всегда попадает одна и та же точка, а именно центр дуги (рис. 1, б), причем расстояние между объективом и исследуемым участком всегда одинаково.

В Институте космических исследований Болгарской академии наук разработано несколько вариантов устройства для измерения индикатрисы отражения — ИИО. Изготовлен один простейший первоначальный вариант — ИИО-1. Целью являлось создание легко переносимого устройства, обеспечивающего измерение СКО под различным углом визирования. При этом больший интерес в случае представляло не столько получение научных результатов, как выявление экспериментальных рекомендаций и выводов в технологическом, эксплуатационном и методологическом отношении, необходимых при разработке и эксплуатации следующих модификаций устройства.

Вариант ИИО-1, как и все остальные, выполнен на основе второй концепции, когда движение спектрометра осуществляется по дуге и визируется один и тот же участок исследуемого объекта при постоянном расстоянии между объектом и объективом прибора.

ИИО-1 представляет собой легкую, разбираемую дюралюминиевую трубчатую конструкцию, позволяющую несложное оперирование ею одним или двумя операторами. Черное покрытие с пренебрежимо малой отражательной способностью гарантирует отсутствие неточностей и искажений исследуемого процесса.

Одна из рабочих высот установления спектрометра $h_a = 100$ см дает возможность сопоставления данных и результатов многолетних измерений [4, 5, 11]; проводимых с обычного треножного штатива с этой же высоты в надир тем же спектрометром.

ИИО-1 предназначено для работы с спектрометрами серии ИСОХ: ИСОХ-010, ИСОХ-020, ИСОХ-022 и ИСОХ-111 [4, 12].

На рис. 2 показан схематичный вид ИИО-1. Спектрометр можно устанавливать в надир ($\alpha = 0^\circ$) и в еще 8 положений — по 4 с обеих сторон с шагом $\beta = 15^\circ$. При исследовании индикатрисы отражения растительного покрова высоту h' ИИО-1 можно регулировать так, чтобы центр дуги с радиусом R , по которой фиксируется спектрометр, лежал в плоскости, образованной вершинами растений:

$$h' = h_0 + h,$$

где h_0 — высота растений.

Очевидно, что при постоянном входном угле зрения 2γ спектрометра и неменяющемся R (рис. 3), охватываемая площадь S_i исследуемого объекта является функцией угла α_i , заключаемого оптической осью спектрометра с перпендикуляром к плоскости исследуемого объекта:

$$S_i = f(\alpha_i).$$

S_i минимальна при $\alpha = 0^\circ$, т. е., когда охватываемая площадь является кругом ($S_{i \min} = S_{кр}$), и S_i максимальна при $\alpha = \pm 60^\circ$, т. е., когда имеет форму эллипса с максимальной длиной большой оси D_{\max} ($S_{i \max} = S_{эл \ 60}$).

Элементарным математическим аппаратом можно вывести зависимость между площадью круга $S_{кр}$ и площадью эллипса $S_{эл}$, малая ось d которого равна диаметру круга, а большая является функцией угла α :

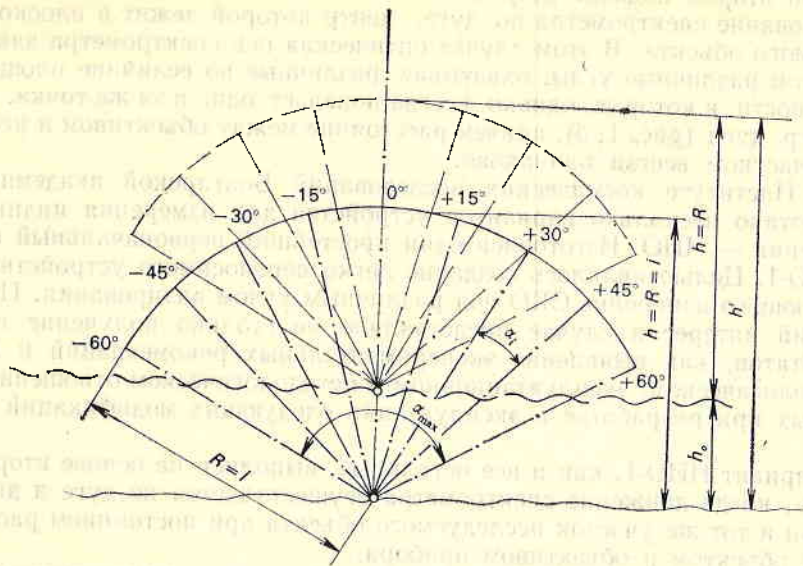


Рис. 2

$$\frac{S_{\text{ол}}}{S_{\text{кр}}} = \frac{1}{\cos \alpha (1 - \text{tg}^2 \gamma \text{tg}^2 \alpha)}$$

Это соотношение надо иметь в виду в тех случаях, когда спектрометр калибруется посредством эталонного экрана, лежащего в плоскости, перпендикулярной его оптической оси.

Основные технико-эксплуатационные характеристики ИИО-1

- | | |
|--|---|
| 1. Высота установления спектрометра над земной поверхностью при $\alpha=0^\circ$ | $h = 120 \div 200 \text{ mm.}$ |
| 2. Общий рабочий охват | $\alpha_{\Sigma} = 120^\circ$ |
| 3. Число фиксированных положений спектрометра | $n = 9$ |
| 4. Шаг фиксирования спектрометра | $\beta = 15^\circ$ |
| 5. Дискретные рабочие положения спектрометра | $\alpha_i = -60^\circ; -45^\circ;$
$-30^\circ; -15^\circ; 0^\circ; +15^\circ; +30^\circ; +45^\circ; +60^\circ$ |
| 6. Точность позиционирования | $\delta = \pm 1,5^\circ$ |
| 7. Масса | $7,5 \text{ kg}$ |

Лабораторные испытания и эксплуатация устройства в натуральных условиях, хотя и немногочисленные, дают основание сделать некоторые выводы и рекомендации при реализации следующих модификаций ИИО:

1. Обеспечение общего рабочего охвата $\alpha_{\Sigma} = 120^\circ$ связано с определенными трудностями технического и технологического характера. Удобнее в этом отношении охват $\alpha_{\Sigma} = 90^\circ \div 120^\circ$.

2. Необходимо наличие возможности плавного (недискретизованного) движения и фиксирования спектрометра в любой произвольной точке дуги, т. е. $\alpha_i = \text{var.}$

и вращение...
 2. С целью сохранения...
 конструктивных...
 и...
 можно...
 концы...
 для...
 это...
 такие...
 возможность...

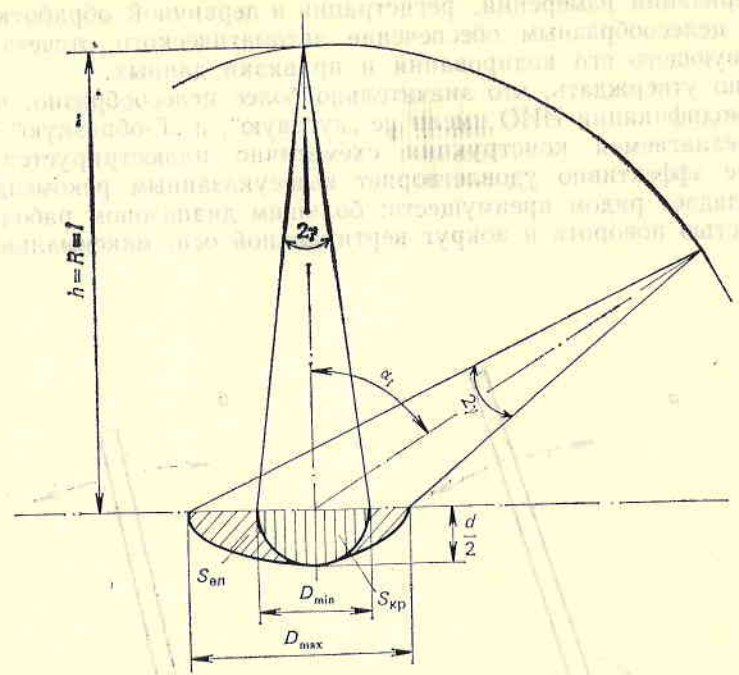


Рис. 3

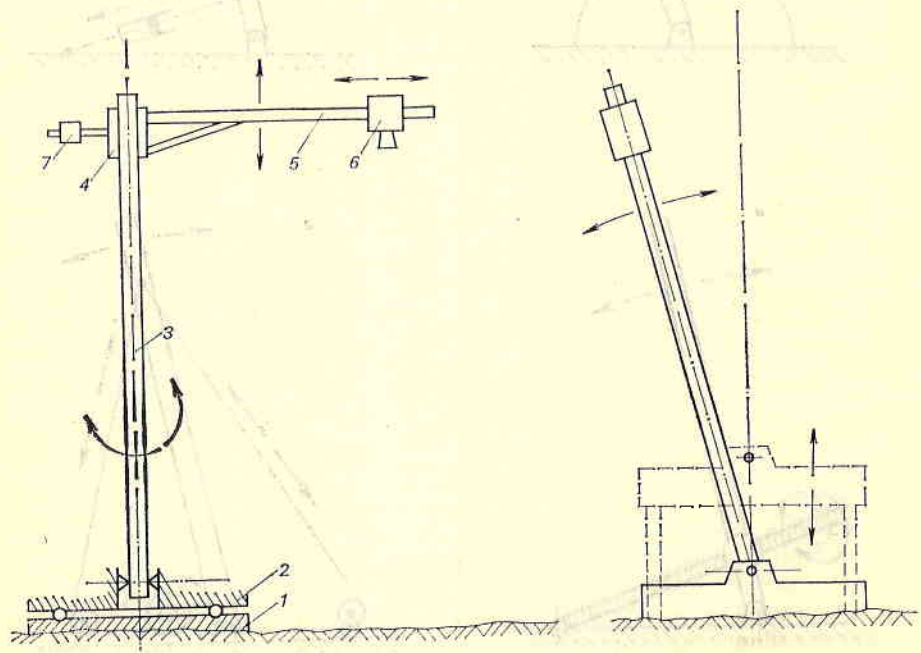


Рис. 4

Рис. 5

3. С целью создания предпосылок максимальной автоматизации и компьютеризации измерений, регистрации и первичной обработки данных является целесообразным обеспечение автоматического отсчета угла α_i , соответствующего его кодированию и привязки данных.

Можно утверждать, что значительно более целесообразно, чтобы следующие модификации ИИО имели не „дуговую“, а „Г-образную“ конструкцию. Предлагаемая конструкция схематично иллюстрируется (рис. 4). Она более эффективно удовлетворяет вышеуказанным рекомендациям, а также обладает рядом преимуществ: большим диапазоном рабочих высот, возможностью поворота и вокруг вертикальной оси, максимальной реали-

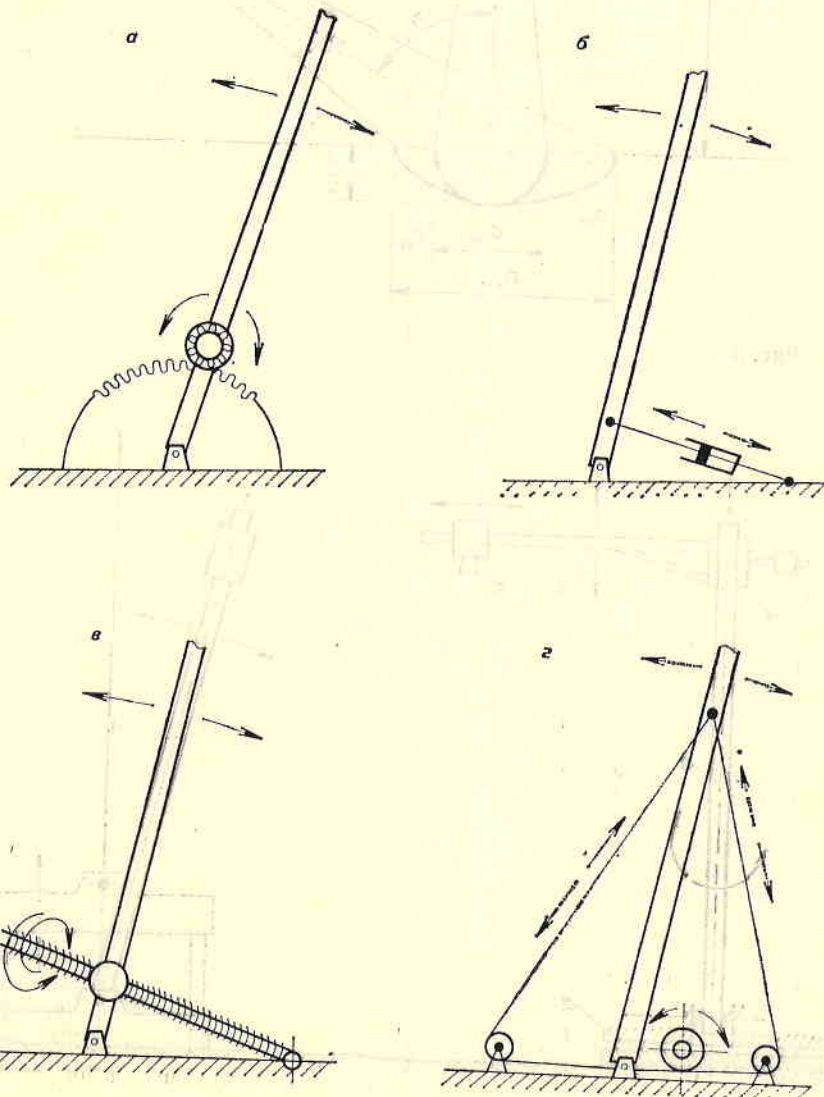


Рис. 5

зацией действительных технико-эксплуатационных возможностей современных автоматических высокоскоростных спектрометров и пр.

„Г-образная“ конструкция позволяет измерение индикатрисы отражения водной поверхности, для чего основание устройства может стоять на берегу, мостике, плоту и т. д.

Несмотря на то, что из-за эксплуатационных и методических преимуществ принята конструкция, при которой спектрометр движется по дуге, целесообразным является обеспечение также возможности движения вокруг его поперечной оси с целью сопоставления данных измерений индикатрисы отражения, полученных на основе обоих подходов выполнения ИИО (см. рис. 1, а, б).

На рис. 4 в схематическом виде показаны основные узлы предлагаемой конструкции: 1 — основание (шасси), 2 — поворачивающаяся панель (диск), 3 — вертикальная мачта, 4 — ползун несущий, 5 — горизонтальная несущая штанга, 6 — спектрометр, 7 — противовес.

На рис. 5 схематично показаны предлагаемые четыре способа осуществления движения вертикальной мачты посредством:

а — зубчатого сектора и зубчатого колеса; б — ходового винта и гайки; в — гидравлического или пневматического цилиндра; г — канатов.

Все четыре способа дают возможность использования как ручного привода, так и электродвигателя. В случаях, когда ИИО используется в составе мобильного наземного измерительного комплекса (МНИК), электропитание осуществляется от системы электропитания этого комплекса [6].

Кроме как для измерения индикатрисы отражения, ИИО может служить также для измерения поляризации падающей радиации, при некоторых геофизических исследованиях, при измерении естественных оптических эмиссий ночного неба [7] и др.

Авторы выражают благодарность чл.-корр. проф. Д. Миневу за инициативу, оказанную помощь и ценные советы.

Литература

1. Кууск, А. Эффект обратного блеска однородного растительного покрова. — Исследование Земли из космоса, 1983, № 4, 90—99.
2. Кууск, А. и др. Индикатрисы отражения растительных покровов. — Исследование Земли из космоса, 1984, № 5, 68—75.
3. Вандербилт, В. С., Л. Грант, К. С. Т. Дотри. Поляризация света, рассеянного растительностью. — ТИИЭР, 73, 1985, № 6, 72—85.
4. Миншев, Д. Дистанционные исследования на Землях от Космоса. С., БАН, 1981. 206 с.
5. Кыичева, Р. Связи спектральных характеристик с биометрическими параметрами посевов озимой пшеницы. Итоговый отчет по международному аэрокосмическому эксперименту „Курск-85“, РГДЗ „Интеркосмос“, М., 1987, 172—180.
6. Мардиросян, Г. Кандидатская диссертация. С., ЦЛКИ—БАН, 1984.
7. Жеков, Ж., Г. Мардиросян, Д. Инджева, Д. Иванова, К. Вълчев. Синхронни наземни изследвания на естествени оптични емисии на нощното небе по програмата „Шипка“ за полета на втория български космонавт. Научна сесия „Космически технологичен трансфер“, Шумен, 1989.
8. Shibauma, M., C. L. Wiegand. View azimuth and zenith, and solar angle effects on wheat canopy reflectance, remote. — Remote Sensing of Environment, 18, 1985, No 1, 91-103.
9. Kims, D. S. et al. Directional reflectance factor distributions for cover types of Northern Africa. — Remote Sensing of Environment, 18, 1985, No 1, 1-19.

10. Deering, D., P. Leone. A sphere-scanning radiometer for rapid directional measurements of sky and ground radiance. — *Remote Sensing of Environment*, 19, 1986, 1-24.
11. Kancheva, R. The use of spectral reflectance characteristics for the estimation of the wheat crop state. — *Comp. rend. de l'Acad. bulg. des Sci.*, 41, 1988, No 8, 69-71.
12. Mishiev, D., A. Krumov, D. Petkov, B. Tzenov, S. Zhivkov. New generation of spectrometers for measurement of spectral reflective characteristics. — *Acta astronautica*, 12, 1985, No 11, 973-975.

Поступила 21. IV. 1989 г.

A device for measurement of the reflection indicatress

Garo Mardirossian, Rumjana Kancheva

(Summary)

The reflection indicatress, i. e. the angular dependence of the spectral reflectance coefficient, is a substantial characteristics of the spatial structure of the solar radiation reflected by the object.

In the paper is discussed the need of a device for measurement of the reflection indicatress, as well as some theoretical aspects, practical prerequisites and prospects for its construction. There are described also the major technical and exploitation characteristics of such a device designed in the Space Research Institute of the Bulgarian Academy of Sciences.