

Таблица 2 – Результаты измерений отрицательных радиусов кривизны

Паспортное значение, мм	Сферометр Supersphere	Автоколлимационный метод
-2 000,148	-1 963,1	-2 024,05
-2 884,481	-2 823,3	-2 880,59
-5 754,271	-5 644,6	-5 795,21
-7 586,149	-7 525,5	-7 613,46
-9 600,152	-9 379,4	-9 603,52
-16 749,421	-16 344,0	-17 320,28
-18 845,310	-18 058,3	-19 023,45

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что высокую точность при измерении положительных радиусов кривизны величиной до 1500 мм можно получить при измерении всеми вышеперечисленными методами, но при измерении больших радиусов кривизны на сферометре величина отклонения существенно изменяется.

Так, при измерении радиуса кривизны 3 731,131 мм ошибка сферометра составила

9,5 %, в то же время как по автоколлимационному методу отклонение составило -0,21 %. В среднем же отклонение от номинала равняется 0,2 % для положительных радиусов кривизны и 0,9 % для отрицательных.

Величина разброса результатов измерений Δ при контроле радиуса кривизны 8 673,342 мм составила 0,05 %.

Таким образом, автоколлимационный метод является более универсальным для измерения больших радиусов кривизны, а оценка по дифракционному виду точки позволяет учесть индивидуальные особенности зрения операторов, проводящих измерения.

Литература

1. Мальцев М.Д. Прикладная оптика и оптические измерения / М.Д. Мальцев, Г.А. Каракулина. – М.: Машиностроение, 1986. – С. 409–412.
2. Креопалова Г.В. Оптические измерения / Г.В. Креопалова, Л.Н. Лазареева. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 83–91
3. Operating Manual MELOS 530. Version 10/2005, - Muller-Wedel Optical GmbH.
4. Кривовяз Л.М. Практика оптической измерительной лаборатории / Л.М. Кривовяз, Д.Т. Пуряев. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 144–146.

УДК 528.084

ЛАБОРАТОРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЯРКОСТИ И СОДЕРЖАНИЯ ПИГМЕНТОВ В ОБРАЗЦАХ РАСТЕНИЙ

Силюк О.О., Литвинович Г.С., Ломако А.А., Станчик В.В.,
Гуляева С.И., Бручковский И.И.

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

Дистанционные измерения растительного и лесного покрова является развивающейся сферой деятельности на сегодняшний день ввиду широкого распространения и применения спутниковых и беспилотных авиационных измерений. Данные таких измерений используются для мониторинга состояния растительности, обнаружения стресса растений на ранних стадиях, исследований видового состава растительности и т.д. Для корректного анализа, верификации и составления методик обработки дистанционно измеренных данных необходимо проведение качественных лабораторных исследований образцов растительности.

Лабораторный комплекс CHERRY (Chlorophyll Estimation and Reflectance Registration sYstem) создан с целью совместных измерений коэффициентов спектральной яркости (КСЯ) образцов растений и количественного содержания в них хлорофилла и других пигментов. Такие совместные измерения представляют научный интерес, так как позволяют проводить исследования корреляций между об-

разцами КСЯ фитоэлементов и содержанием пигментов в них.

Конструктивно комплекс CHERRY состоит из двух частей: гониометра и фотометра. Измерения КСЯ и пигментов производятся при помощи одного спектрометра Solar M150 [1], таким образом минимизируются инструментальные погрешности.

Гониометр предназначен для измерений спектров и последующего вычисления КСЯ объектов с высоким спектральным разрешением в диапазоне 400–2500 нм в надириной геометрии визирования для различных углов возвышения имитатора солнца. В качестве осветителя применяется комбинация квазипараллельного источника (имитатор солнца) и диффузного источника (имитатор неба).

Схема гониометра представлена на рисунке 1. Исследуемый образец, расположенный на вращающейся платформе 1, освещается имитатором солнца, формирующим квазипараллельный световой пучок с высокой степенью равномерности, состоящим из лампы накаливания 2, вогнутого

зеркала 4 и коллиматора 3. Кроме того, образец 1 освещается при помощи имитатора неба – протяженного источника белого света сплошного спектра, состоящего из белых светодиодов 11, отражателя 12 и диффузного рассеивателя 13.

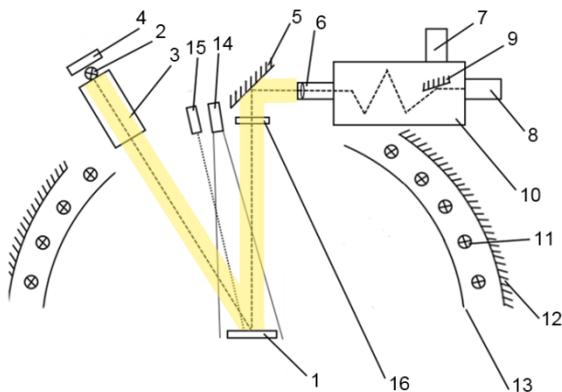


Рисунок 1 – Схема гониометра:

1 – вращающаяся платформа; 2 – лампа накаливания; 3 – коллиматор; 4 – вогнутое зеркало; 5 – плоское зеркало; 6 – система освещения входной щели спектрометра; 7 – детектор на диапазон 1–2,5 мкм; 8 – детектор на диапазон 0,4 – 1 мкм; 9 – зеркало выбора детектора; 10 – спектрометр; 11 – светодиод белый; 12 – зеркальный отражатель; 13 – диффузный рассеиватель; 14 – камера; 15 – красный лазер; 16 – полярOID

Отраженный исследуемым образцом 1 оптический сигнал направляется плоским зеркалом 5 в систему освещения входной щели 6 спектрометра 10 так, что реализуется надирная геометрия измерений спектров отражения образца 1. Спектрометр 10 имеет возможность автоматической смены дифракционных решеток и перенаправления оптического сигнала на один из двух детекторов – видимого 8 и инфракрасного диапазона 7 при помощи плоского зеркала 9.

Для юстировки оптической схемы гониометра и привязки поля зрения спектрометра 10 к положению образца 1 используется камера 14 и юстируемый полупроводниковый лазер 15, что в совокупности позволяет произвести обрисовку границ поля зрения спектрометра на изображении исследуемого образца.

Положение имитатора солнца контролируется при помощи моторизованной оптической платформы с точностью $0,9'$, как и введение образца 1 в поле зрения спектрометра. Переключение детекторов при помощи зеркала 9, управление спектрометром (ширина входной щели, выбор дифракционной решетки, выбор длины волны, установка фильтра), управление детекторами – осуществляется удаленно, что позволяет проведение эксперимента по измерению объекта 1 в автоматическом режиме.

Имитатор солнца схематично представлен на рисунке 2 и состоит из осветителя 1, коллимирующего объектива 2, сферического зеркала 3,

теплообменников 4 и водяного контура системы охлаждения 5.

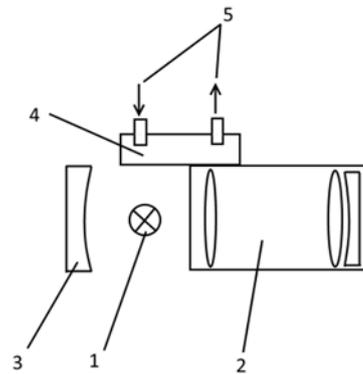


Рисунок 2 – Схема имитатора солнца:

1 – осветитель; 2 – коллимирующий объектив; 3 – сферическое зеркало; 4 – теплообменники; 5 – система охлаждения

Осветитель 1 представляет собой галогеновую лампу накаливания мощностью 150 Вт, питаемую током 6,25 А. Коллимирующий объектив 2 размещен таким образом, чтобы обеспечить квазипараллельность и однородность светового пучка, сферическое зеркало 3 служит для увеличения плотности потока энергии в световом пучке. Для эффективного отвода тепловой энергии от осветителя и объектива применяются два медных теплообменника 4, через которые циркулирует дистиллированная вода.

Имитатор неба схематично изображен на рисунке 3 и состоит из белых светодиодов 1, зеркального отражателя 2 и диффузного рассеивателя 3. Назначение имитатора неба состоит в увеличении уровня сигнала на изучаемом объекте без увеличения уровня теплового воздействия, а также в создании геометрии освещенности, аналогичной естественным условиям.

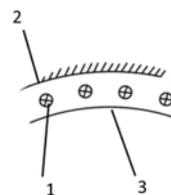


Рисунок 3 – Схема имитатора неба:

1 – светодиод; 2 – зеркальный отражатель; 3 – диффузный рассеиватель

Вторая часть лабораторного комплекса CHERRY состоит из фотометра, предназначенного для измерения оптической плотности вытяжек пигментов, которые получают путем выдерживания мелконарезанных листьев в ацетоне или другом растворителе. Оптическая схема фотометра представлена на рисунке 4. Юстируемое зеркало 5 и спектрометр 10 идентичны представленным на рисунке 1.

Излучение источника 1 коллимируется в квазипараллельный пучок при помощи собирающей

линзы 2, проходит через кювету с раствором пигментов 3, после чего зеркалами 4 и 5 направляется в спектрометр 10. В качестве источника излучения 1 выбран светодиод по той причине, что в отличие от лампы накаливания не оказывает теплового воздействия на кювету с раствором, вследствие которого конвективные потоки в кювете с исследуемыми пигментами 3 создают изменяющийся во времени оптический сигнал.

Для работы установки в режиме фотометра достаточно сместить вращающуюся платформу 1 (рисунок 1) в сторону и включить источник 1 (рисунок 4), после чего имеется возможность регистрировать спектры пропускания кюветы 3 (рисунок 4).

Для управления комплексом CHERRY, задания режимов работы и автоматизации вычислений КСЯ и содержания пигментов создано специальное программное обеспечение.

Таким образом, созданный лабораторный комплекс CHERRY позволяет проводить измерения КСЯ и содержания пигментов в образцах растительности, моделировать полетные измерения объектов растительности, устанавливая угол возвышения имитатора солнца и регулируя ин-

тенсивность излучения имитатора неба. Комплекс обладает рядом отличительных конструктивных особенностей, ввиду чего в данное время проходит процедуру патентования.

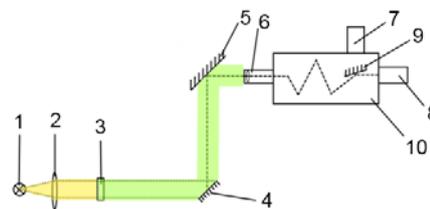


Рисунок 4 – Схема фотометра:

1 – источник белого света; 2 – собирающая линза; 3 – кювета с растворенным хлорофиллом; 4 – плоское зеркало; 5 – плоское зеркало; 6 – система освещения входной щели спектрометра; 7 – детектор на диапазон 1 – 2,5 мкм; 8 – детектор на диапазон 0,4–1 мкм; 9 – зеркало выбора детектора; 10 – спектрометр

Литература

1. Solar Laser Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://solarlaser.com/devices/multi-purpose-compact-monochromator-spectrograph-m150/>. – Дата доступа: 07.10.2020.

УДК 681.783.25

ЮСТИРОВКА ВИЗИРНОГО КАНАЛА МАЛОГАБАРИТНОГО ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА Соснина Л.А.^{1,2}, Фёдорцев Р.В.¹, Вяжевич Г.И.^{1,2}, Рупека С.С.^{1,2}

¹ Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

² УП «Научно-технический центр ЛЭМТ», БелОМО
Минск, Республика Беларусь

Большинство современных моделей лазерных дальномеров имеет ряд дополнительных функций, таких как измерение скорости передвигающегося объекта, быстрое переключение приоритетов цели, возможность измерения угла места и магнитного азимута цели, а так же возможность определения своих координат посредством систем глобального позиционирования, измерение температуры и давления окружающей среды и баллистической дальности.

Данная модель малогабаритного полупроводникового лазерного дальномера представляет собой оптико-электронный прибор, конструктивно объединяющий в себе две основные функциональные системы: дальномер и визир, и предназначен:

- для визуального наблюдения пространственно удаленных объектов;
- для измерения расстояний до объектов, находящихся на удалении до 3000 м.

Отличительной особенностью данной модели лазерного дальномера является наличие ряда следующих дополнительных опций:

- измерение дистанции до двух целей одновременно;
- дистанционное управление (проводное и беспроводное);
- измерение угла места и магнитного азимута цели;
- определение своих координат посредством систем глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС;
- измерение температуры и давления окружающей среды;
- измерение баллистической дальности для ряда видов ручного огнестрельного оружия.

Для правильной работы оптических приборов необходимо определенным образом установить визирные, оптические и другие оси по отношению к заданным конструкторским базам – плоскостям, осям вращения, осям уровней или к визирным, оптическим и другим осям или направлениям, внешним по отношению к юстируемому узлу или прибору [1].

Установку положения и ориентацию визирных линий оптических приборов осуществляют