УДК 528.8; 629.78

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА НАЗЕМНОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТНЫХ КАЛИБРОВОК СПУТНИКОВЫХ СЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ

С.В. Абламейко, Б.И. Беляев, Л.В. Катковский, В.А. Сосенко, О.О. Силюк
Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко
Белорусского государственного университета, Минск

Представлены разработки опытного образца модульного комплекса спектральной аппаратуры оптического диапазона для обеспечения калибровки авиакосмических средств ДЗЗ с целью повышения надежности дешифрирования данных ДЗЗ путём интеграции данных космического, авиационного и наземного сегментов.

В рамках программы Союзного государства «Разработка космических и наземных средств обеспечения потребителей России и Беларуси информацией дистанционного зондирования Земли» («Мониторинг-СГ») НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ разрабатывает и создает опытный образец модульного аппаратно-программного комплекса (АПК «Калибровка») научной аппаратуры оптического диапазона для оснащения наземных полигонов с целью калибровки авиакосмических средств ДЗЗ, а также отработки новых методик дистанционных исследований земных покровов с использованием средств наземного и аэрокосмического базирования для повышения надежности дешифрирования данных ДЗЗ путём интеграции данных космического, авиационного и наземного сегментов.

Дистанционные наблюдения земной поверхности с носителей космического базирования давно уже перешли в стадию широкого практического использования, создания технологий ДЗЗ. При этом важным является разработка и валидация новых методов решения тематических задач, расширяющих спектр услуг ДЗЗ. В связи с этим разрабатывается стратегия обеспечения качества данных ДЗЗ. Для наземного обеспечения таких работ развивается концепция сети подспутниковых полигонов как важнейшего сегмента наземной инфраструктуры космических исследований, которые удовлетворяют условиям различия климатических зон, разнообразия растительных покровов, имеют отличающиеся тематические направленности и несут функциональные нагрузки, соответствующие задачам полигонного обслуживания. Подспутниковые полигоны должны быть оснащены специальной аппаратурой, работающей в различных диапазонах электромагнитных длин волн, соответствующих, в частности, аппаратуре белорусских и российских космических аппаратов, должны обеспечивать возможность проведения двухуровневых экспериментов, а также многоуровневых с привлечением авиационных средств.

В настоящее время компании многих стран мира производят высокоточную спектральную аппаратуру портативного исполнения, которая применяется для дистанционного зондирования различных сред и объектов. Анализ спектрального приборостроения показал, что наибольшее развитие в настоящее время получили спектрометры и спектрорадиометры, использующие полихроматоры (вместо монохроматоров), в которых, как правило, используются вогнутые дифракционные решетки, выполняющие роль коллиматоров, а также линейные и матричные многоэлементные приемники излучения.

К наиболее известным способам расширения рабочего спектрального диапазона спектрометров (без потери информации на стыках различных поддиапазонов) при сохранении высокого спектрального разрешения и чувствительности приборов относятся различные приемы пространственного разделения входного пучка излучения на два и более пучков (светоделение), использование нескольких (чаще двух) входных щелей, использование нескольких линейных приемников излучения с пространственным смещением друг относительно друга. Рассмотрим только некоторые аналоги приборов наиболее известных фирм из состава разрабатываемого комплекса.

Компания ASD –Analytical Spectral Devices (Аналитические спектральные приборы), Inc, штат Калифорния, США [1], основана в 1990 г. FieldSpec 4 является ведущим прибором ASD и пришел на смену ранее производимому прибору FieldSpec 3. Имеет высокое разрешение, обеспечивая автоматизацию сбора данных, работает в широком температурном диапазоне, имеет усиленный корпус. Разработанный для измерения коэффициента отражения и пропускания излучения, энергетической яркости и освещенности, FieldSpec® 4 является удобным прибором для проведения измерений в океанографии, экологии, лесоводстве, геологии и многих других областях.

Компания Spectral Evolution, Inc (США) [2] – производитель спектрометров, спектрорадиометров, осуществляет разработку и изготовление оптоэлектронных приборов, их калибровку и обслуживание. Портативные спектрометры и спектрорадиометры этой фирмы имеют все современные характеристики с хорошим разрешением и чувствительностью в диапазоне 350–2500 нм.

Семейство спектрометров AvaSpec [3], созданное голландским холдингом Avantes B.V. в 2003 г., обеспечило новый уровень оптической спектрометрии в диапазоне 200–1100 нм с разрешением от 0,05 нм. Спектрометры AvaSpec представлены в двух вариантах в зависимости от используемого интерфейса USB.

Компания Spectra Vista Corporation (SVC) [4] – мировой лидер в разработке и производстве портативных спектрорадиометров и авиационных гиперспектральных датчиков дистанционного зондирования – является главным конкурентом компании ASD. Приборы оригинальной серии GER 1500, GER 2600, GER 3700, а также приборы нового поколения серии SVC используются для измерения спектральных характеристик различных минералов, растительных, лесных и других наземных и водных поверхностей.

Наряду с измерениями спектров подстилающих поверхностей для обеспечения полетных калибровок спектральной аппаратуры ДЗЗ необходимы измерения основных оптических параметров атмосферы, в первую очередь параметров аэрозоля. Солнечный фотометр Cimel CE 318 [5] – фотометр автоматического солнечного отслеживания был разработан и создан для проведения высокоточных измерений, обладая при этом всеми качествами полевого инструмента: моторизованный, портативный, автоматический, автономный. Его основная цель заключается в измерении прямого и рассеянного солнечного (небесного) излучения для того, чтобы получать информацию о содержании в атмосфере водяного пара, озона и аэрозоля.

Основной эффект от разработки АПК «Калибровка» связан с получением новых данных по оптическим параметрам атмосферы Земли и подстилающих поверхностей.

В состав АПК будут входить следующие модули:

– бортовой фотоспектрорадиометр (ФСР) высокого разрешения на диапазон 400–900 нм, снабженный цифровой покадровой видеосистемой и синтезом изображений и спектров и предназначенный для измерения спектральных отражательных характеристик всех типов природных поверхностей полигонов (тестовых площадок) с борта авиационных носителей и в наземных условиях;

– двухканальный модульный спектрорадиометр (ДМС) 400–900 нм, предназначенный для одновременного измерения яркости отраженного излучения от подстилающей поверхности и освещенности падающего излучения с верхней полусферы;

– два портативных спектрорадиометра на области 800–1500 нм и 1200–2500 нм соответственно, предназначенных для измерения в наземных стационарных условиях, с вышек и подвижных средств спектральных характеристик отражения тестовых участков природных, искусственных и антропогенных объектов;

– сканирующий солнечный спектрополяриметр на область 350–950 нм (ССП-600) для измерения прямого солнечного и рассеянного атмосферой под различными углами излучения;

– комплект специальных насадок для обеспечения измерений коэффициентов спектральной яркости, поляризационных характеристик, спектрального альбедо;

– специальное программное обеспечение (СПО) управления, хранения и обработки данных.

Также будут разработаны методики дистанционных исследований земных покровов с использованием наземных и авиационных средств ДЗЗ.

В результате выполнения работы будет сдан современный передвижной комплекс аппаратуры оптического диапазона для оснащения наземных полигонов с целью калибровки авиакосмических средств ДЗЗ, конкурентоспособный на внешних рынках.

Планируется эксплуатация комплекса на подспутниковом полигоне Западная Березина и Курском аэрокосмическом полигоне в Российской Федерации.

В Республике Беларусь результаты проекта предварительно согласованы с УП «Геоинформационные системы» НАН Беларуси и со специалистами ОАО «Пеленг» в части летных испытаний и полетных калибровок ЦА БКС ДЗ. Создаваемая аппаратура и методики проверки основных параметров БКА в процессе летных испытаний, полетной калибровки и эксплуатации позволят получать высокоточные данные ДЗЗ и использовать результаты съемок территории Беларуси и России в интересах различных министерств, ведомств и организаций Республики Беларусь и Российской Федерации.

Со стороны Российской Федерации в использовании аппаратно-программного комплекса заинтересованы: РКК «Энергия» (г. Королев Московской обл.); Институт географии РАН (Москва); Институт леса Сибирского отделения РАН (Красноярск).

Для максимальной эффективности использования АПК предполагается проведение многоуровневых подспутниковых измерений тестовых объектов полигонов с использованием АПК «Калибровка», что позволит повысить точность временной и пространственной привязки измеряемых данных, точность измерения абсолютных яркостей отраженного объектами излучения.

АПК будет обеспечивать:

– спектральное разрешение 2–5 нм в диапазоне 400–900 нм, 10 нм в диапазоне 800–1500 нм, 15 нм в диапазоне 1200–2500 нм;

– синхронное измерение оптических характеристик солнечного излучения (для определения параметров атмосферы) и подстилающих поверхностей;

– измерение угловых зависимостей отраженного излучения;

– одновременное измерение падающего и отраженного излучения (для измерений КСЯ и альбедо);

– цифровую регистрацию изображений спектрометрируемого объекта;

– погрешности измерения оптических параметров подстилающих поверхностей составляют 5–10 %.

АПК и СПО должны обеспечивать привязку спектров и изображений к навигационным данным (время, географические координаты) GPS, совместный анализ спектров и изображений.

Разрабатываемый АПК, объединяющий в своем составе пять спектральных приборов, использует новые способы спектрометрии, касающиеся, в частности, комплексирования спектрорадиометров различных спектральных диапазонов, видеопривязки и регистрации изображений спектрометрируемого объекта с жесткой пространственной привязкой поля зрения спектрорадиометра к изображению, географическую привязку объектов, одновременную съемку спектров отражения подстилающей поверхности и освещающего излучения, регистрацию спектрально-угловых зависимостей рассеянного в атмосфере излучения Солнца и др.

Таким образом, в Республике Беларусь будет разработан и создан АПК, обеспечивающий весь комплекс наземных или авиационных измерений для обеспечения высокоточных полетных калибровок спутниковых спектральных и спектрозональных съемочных систем.

АПК должен быть аттестован по своим фотометрическим характеристикам, количественно выражаемым в единицах энергии или производных от них. Фотометрические градуировки АПК будут проведены на метрологическом комплексе «Камелия-М» в НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ. Фотометрическая градуировка АПК должна быть выполнена по образцовому средству измерений спектральной плотности энергетической яркости некогерентного оптического излучения сплошного спектра.

При фотометрических градуировках определяются следующие характеристики:

– рабочий спектральный диапазон в нм;

– пороговая чувствительность в пределах рабочего спектрального диапазона в размерности Вт/см^2·мкм·ср;

– динамический диапазон по световому потоку в пределах рабочего спектрального диапазона в дБ;

– верхний предел измерения спектральной плотности энергетической яркости в пределах рабочего спектрального диапазона в размерности Вт/см2·мкм·ср;

– погрешности измерения спектральной плотности энергетической яркости в пределах рабочего спектрального диапазона.

Новизна работы заключается в том, что впервые в Республике Беларусь будет разработан и создан АПК, обеспечивающий весь комплекс наземных или авиационных измерений для обеспечения высокоточных полетных калибровок спутниковых спектральных и спектрозональных съемочных систем.

Список литературы

1. Analytical Spectral Devices. Inc. [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.asdi-rus.ru/catalog/25/. – Date of access : 19.06.2014.

2. SPECTRAL EVOLUTION [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.spectralevolution.ru/page/portable_spectroradiometer. – Date of access : 19.06.2014.

3. Многофункциональные оптоволоконные спектрометры Avaspec [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.avantes.ru/spectrometer/. – Дата доступа : 19.06.2014.

4. Spectra Vista Corporation [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.spectravista.com/ground.html. – Date of access : 19.06.2014.

5. Multiband photometer Cimel CE318 [Electronic resource]. – Mode of access : http://www.cimel.fr/. – Date of access : 19.06.2014.