УДК 681.785.555

В. В. Донец

Корпорація «Науково-виробниче об'єднання «Арсенал», Київ

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ БОРТОВЫХ ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРОВ AIS

Розглянуто особливості конструкцій гіперспектрометрів авіаційного базування AIS-1 та AIS-2 для спектрометричного дослідження земної поверхні та підсупутникової валідації спектрометричних даних. Досягнення передових технологій, які були розроблені та апробовані в гіперспектрометрах AIS, були втілені в космічних гіперспектрометрах SISEX (1990 р.), HIRIS (1994 р.).

введение

Современные системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) отличаются большим разнообразием. Их технические характеристики существенно превосходят характеристики первых образцов космических многоспектральных сканеров с аппаратурой MSS (Multispectral Scanner System), которая позволяла вести съемку в четырех спектральных диапазонах, ширина каждого из которых составляла около 100 нм [5, 7].

В последние время в мировой практике аэрокосмического мониторинга земной поверхности наблюдается все более активное внедрение методов гиперспектральной спектроскопии изображения (Imaging Spectrometry) и средств для гиперспектральной съемки [4, 14]. Они были разработаны для получения более точной и обширной информации о поверхности Земли при ее дистанционном зондировании.

Термин «гиперспектральное изображение» был впервые введен в 1985 г. в работе [17] при обсуждении первых результатов и техники спектрометрии изображений.

Переход от традиционных многозональных (мультиспектральных) измерений к гиперспектральным позволяет не только увеличивать количество получаемой информации о земной поверхности, но и обеспечивать регистрацию качественно нових, ранее недоступных данных высокого спектрального и пространственного разрешения.

Результаты гиперспектральных измерений могут эффективно использоваться для решения сложных задач обнаружения малоразмерных объектов, идентификации объектов исследуемой поверхности, определения их состояния и динамики и др.

Современные методы обработки спектров базируются на получении информации по количественным показателям формы спектра отражения [2]. Это требует использования бортовых гиперспектрометров с высокой спектральной разрешающей способностью и низким шумом. Используемые гиперспектральные системы Д33 установливаются на различных воздушных летательных аппаратах космического [5, 7, 13, 14] и авиационного [3, 4, 14, 24, 25] базирования, как пилотируемых, так и беспилотных [3]. Такие системы охватывают уже сотни спектральных зон шириной около 10 нм (даже до 5 нм) каждая [3, 7].

Ниже будут описаны технические характеристики современной гиперспектральной оптико-электронной аппаратуры и некоторые особенности конструкции на примере эволюции семейства бортовых гиперспектрометров AIS — SISEX — HIRIS.

ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРЫ АВИАЦИОННОГО БАЗИРОВАНИЯ AIS-1 И AIS-2

Класс бортовых гиперспектральных приборов начал создаваться в конце прошлого столетия в США [14, 15, 18, 19] в Национальном управлении по аэронавтике и исследованию космического пространства США (NASA), поскольку именно гиперспектральные данные позволяют более строгую дифференциацию объектов Земли через характеристику физических и химических свойств этих объектов.

Первое поколение бортовых гиперспектрометров (сначала авиационного базирования) представлено инфракрасными приборами (называемыми также спектрометрами изображения или видеоспектрометрами) AIS-1 и AIS-2 «Air-

borne Imaging Spectrometer» [6, 9, 14, 15, 18–25].	ного
AIS-1 и AIS-2 были своего рода испытательным	«Pus

. Характеристики гиперспектральных сенсоров				
Сенсор	AIS-1 авиа (1982 г.)	AIS-2 авиа (1986 г.		

Таблица 1

полигоном для будущих космических инфракрасных гиперспектральных систем [6, 21].

Конструкция бортовых гиперспектрометров **AIS.** Бортовые гиперспектрометры AIS-1 и AIS-2 работают при обработке изображений в маятниковом режиме [21, 23] (рис. 1) и построены на базе дифракционного спектрометра, в котором впервые использован двумерный массив детекторов — матричный премник излучения, расположенный в фокальной плоскости выходного коллиматора спектрометра (вместо выходной щели).

Режим работы гиперспектрометра с матричным приемником, названный позже как «Pushbroom» [1] (метлой по курсу) прекрасно зарекомендовал себя во время работы гиперспектрометров, начиная с прибора авиационо базирования AIS-1 (рис. 2). Режим работы shbroom» устраняет необходимость механиз-

Сенсор	AIS-1 авиа (1982 г.)	AIS-2 авиа (1986 г.)	SISEX космический (1990 г.)	HIRIS космический (1994 г.)
Число спектральных полос (каналов)	128	128	192	192
Спектральный диапазон, мкм	1.2-2.4	0.8-2.4	0.4-2.5	0.4-2.45
Полуширина спектральной полосы (WIDTH) δλ _{0.5} , нм	9.4	12.5	11	9.4 (0.4—1.0) 11.7 (1.0—2.45)
Размер исследуемого участка на Зем- ле (GIFOV), м при высоте, км	11.4 (6 км)	12.3 (6 км)	30	10-панхром 20-панхром (0.5—0.9 мкм)
Мгновенное поле зрения IFOV, мрад	1.91 (11.4 м при высоте 6 км)	2.05	_	_
Поле зрения FOV, град	3.7 (12.3 м при высоте 6 км)	7.3	_	_
Полоса осмотра при 6 км высоте, км	0.365	0.787	12	24 (высота 705 км)
SNR-отношение «сигнал/шум» и розрядность АЦП	10—40 (8 бит/пкл)	40—110 (12 бит/пкл)	_	12 бит/пкл
Скорость передачи данных, Кбит/с	394	1.670	_	100—405 Мбит/с
Спектральная выборка:				
«Tree», мкм	0.9—2.1 ^a	0.8—1.6 ⁶		
«Rock», мкм	1.2—2.4 ^a	1.2—2.4 в		

Примечание: а — область спектра > 1.6 микрон загрязнена вторым порядком излучения; б — принимаются дополнительного около 40 спектральных каналов с длинами волн > 1.6 мкм, но они содержат излучение второго порядка; B - c дополнительным около 10 спектральных каналов принимаются с длинами волн > 2.4 мкм, но они содержат излучение второго порядка.



Рис. 1. Принцип работы гиперспектрометров AIS-1 и AIS-2 в маятниковом режиме при обработке изображений с матричным массивом фотоприемников [6, 21, 23]



Рис. 3. Оптическая схема гиперспектрометров AIS-1 и AIS-2 [15, 21]

ма поперечного сканирования и обеспечивает возможность выполнения сканирования по треку с более высокой скоростью.

Хотя первые матричные детекторы на основе КРТ (HgCdTe) содержали только 32×32 элементов, они позволили создать спектрометр изображения AIS-1, который охватывает область спектра за пределы 1.1 нм (в варианте AIS-2 — до 2.4 мкм). Первое описание прибора AIS-1 изложено в работе [24].

Сравнительные технические характеристики гиперспектрометров AIS-1 и AIS-2 приведены в табл. 1.

Бортовой гиперспектрометр AIS-1. Входная оптика прибора AIS-1 состоит (см. рис. 3, 4) из



Рис. 2. Гиперспектрометр AIS-1 [6, 21, 23]



Рис. 4. Прибор AIS размером примерно 30 × 30 × 20 см в разобранном виде (фото NASA / JPL) [15, 18]

концентрического зеркального телескопа Шварцшильда с рабочим диаметром 24 мм, состоящего из дзеркал М1 и М2 и сборки диафрагмы.

Световой поток, отраженный от земной поверхности и сформированный входным телескопом, через входную щель 5 входит в спектрометр, который состоит из входной щели 5, коллиматорного зеркала М3, камерного зеркала М4 и плоской дисковой дифракционной решетки между ними. Размер входной щели 5 спектрометра и определяет размер кросс-трек следа на земле (как проекцию щели 5).

В спектрометре AIS свет поочередно отражается от динамически сменных рабочих зон дисковой дифракционной решетки и с помощью параболического камерного зеркала М4 фокусируется на чувствительную площадку матричного КРТ-детектора на основе HgCdTe с массивом элементов 32 × 32 в AIS-1 или 64 × 64 — в AIS-2. КРТ-детектор для охлаждения расположен внутри сосуда Дьюара с жидким азотом.

Для получения с матричного 32 × 32-элементного детектора 160 (в окончательном варианте — 128) спектральных изображений входной щели 5 (на которую проецируется изображение кросс-трека с земной поверхности) дифракционная решетка в приборе AIS-1 выполнена в виде вращающегося диска [21] с пятью (в окончательном варианте — четырьмя) типами секторов. Эти рабочие сектора имеют разный, последовательно изменяемый наклон штрихов для обеспечения разных углов блеска, а тем самым и пяти (четырех) сопряженных по спектру рабочих поддиапазонов по 300 нм каждый), которые во время перемещения диска меняют свои позиции: GPOS 0 — GPOS 1 — GPOS 2 — GPOS 3 — GPOS 4 (см. табл. 2) за время, когда самолет летит вперед над одной площадкой земли протяженностью 8—12 м при высоте полета 4.2—6 км. Это мгновенное поле обзора IFOV ≈ 2 мрад, что соответствует проекции на исследуемую поверхность одного квадратного пикселя из матричного массива 32 × 32 КРТ-фотоприемного устройства гиперспектрометра.

Разработчики гиперспектрометра AIS-1 уже имели опыт конструирования спектральных приборов с дифракционной решеткой в виде вращающегося диска. Это техническое решение ранее было внедрено в 1983 г. в портативном полевом приборе PIDAS (Portable Instant Display and Analysis Spectrometer) [11, 14, 15, 18, 23].

Таблица 2. Позиции и рабочий спектральный диапазон дифракционной решетки гиперспектрометра AIS-1 [21]

Позиции	Рабочий спектральный	
дифракционной решетки	ки диапазон, мкм	
GPOS 0	от 0.9 до 1.2	
GPOS 1	от 1.2 до 1.5	
GPOS 2	от 1.5 до 1.8	
GPOS 4	от 1.8 до 2.1	
GPOS 4	от 2.1 до 2.4	

Поскольку каждый дифракционный спектральный прибор имеет недостаток — наложение спектров высших порядков, то для исключения наложения сигналов из рабочего участка длин волн $\lambda\lambda = 0.9-1.2$ нм на рабочий участок длин волн $\lambda\lambda = 1.8-2.4$ нм (позиция GPOS 0 дифракционной решетки) в окончательном варианте прибора AIS-1 была исключена.

Таким образом, общий рабочий спектральный интервал гиперспектрометра AIS-1 составлял $\Delta\lambda = 1200$ нм в спектральном диапазоне 1.2—2.4 мкм и укладывался на 128 ($32 \times 4 = 128$) пикселей КРТ-сенсора, который регистрировал интенсивность входящего в него излучения в 128 спектральных интервалах, каждый из которых имеет полуширину $\delta\lambda_{0.5} = 9.3$ нм (1200 нм / 128 пкл = 9.4 нм/пкл).

Такой пространственный интервал выборки данных при условии имеющегося спектрального разрешения $\delta\lambda_{0.5}$ был достаточным для выявления тонких существенных признаков по поглощению, которые остались неучтенными при использовании предыдущих бортовых мультиспектральных сканеров.

Полоса осмотра земной поверхности при высоте самолета 6 км составляла 365 м. При этом пространственное разрешение гиперспектрометра GIFOV (размер единомоментного исследуемого участка на Земле) с 32-пиксельным приемником составляла 365 м / 32 = 11.4 м.

Прибор AIS-1 был предназначен в первую очередь (как было замечено выше) для испытаний нового на то время перспективного матричного гибридного КРТ-детектора (HgCdTe), в котором использовался двумерный (32 × 32) массив охлаждаемых жидким азотом детекторов, и имеющего перспективы дальнейшего применения в бортовых приборах космического базирования.

Первый полет прибора AIS-1 был проведен в ноябре 1982 г. на борту самолета NASA/DC-3. В следующем году AIS-1 был переведен на борт самолета NASA/Ames C-130, на котором он летал до начала 1987 г. [6, 21, 23].

Гиперспектрометр AIS-1 интенсивно эксплуатировался в 1984 и 1985 гг. Этот сенсор превзошел все ожидания программы испытаний и стал пользоваться большим спросом при дистанционном зондировании земной поверхности. В течение двух лет эксплуатации прибором AIS-1 успешно исследовано более 7000 миль в США, Австралии и в Европе [6, 21, 23].

Гиперспектрометр AIS-1 имел несколько существенных недостатков, которые приводили к ухудшению достоверности получаемых результатов:

• чрезмерный электронный шум;

• неоднородность получаемых гиперспектральных данных;

• низкая оптическая четкость из-за вибрации детектора в фокусе спектрометра;

• загрязнение полезного сигнала излучением второго дифракционного порядка.

Эффектом чрезмерного шума в электронных приборах является снижение отношения сигнал-шум (*SNR*). Расчеты показывают, что такой прибор, как AIS-1, который работает в инфракрасной области с охлаждающим жидким азотом матричным КРТ-детектором, должен иметь *SNR* > 100 на длине волны $\lambda = 2.2$ мкм при величине отражения от земли (альбедо), равном 0.5 в средних широтах, с середины лета, при наличии сельских аэрозолей и при видимости 23 км [23].

При этих условиях в полете в AIS-1 были получены *SNR* = 10—40 [23].

Все эти проблемы были учтены в ходе преобразования прибора AIS-1 в AIS-2.

Бортовой спектрометр визуализации AIS-2. На базе прибора AIS-1 был создан новый бортовой гиперспектрометр AIS-2 [20, 22, 23], который начал летать в 1986 г. AIS-2 был предназначен для сбора данных о спектральной интенсивности входящего в него излучения в диапазоне спектра от 0.8 до 2.4 мкм в 160 (128) смежных спектральных интервалах, каждый из которых имеет полуширину $\delta\lambda_{0.5} \approx 10$ нм. В нем сначала использовался тот же (32 × 32) КРТ-детектор, но затем был установлен КРТ-детектор следующего поколения, в котором использовался новый двумерный (64 × 64) массив детекторов [6, 20, 22, 23].

Сто двадцать восемь (или сто шестьдесят [6]) спектральных полос в приборе AIS-2 формировались за два шага дифракционной решетки (вместо пяти, а затем четырех шагов в приборе

ISSN 1561-8889. Космічна наука і технологія. 2012. Т. 18. № 5

AIS-1). При этом частота сканирования возросла с 12 до 16 строк в секунду, хотя в первом случае было большее времени интеграции, и следовательно, более высокое значение *SNR* [23].

AIS-2 включает в себя новую входную телескопическую оптику (оптика спектрометра осталась прежней), которая имеет широкое поле зрения, чтобы воспользоваться полосой длиной в 64 пкл [23]. Два из наиболее значительных улучшений в производительности прибора AIS-2 [22, 23]:

• введение в цепи электроники оптронных изоляторов между цифровой и аналоговой частями электроники;

• введение в спектрометр двух переключаемых интерференционных блокирующих фильтров.

Новая электроника включала дополнительную антишумовую защиту измерительного инструмента (оптронную развязку цифровой и аналоговой электроники). При этом электронный шум в цепи сигнала стал значительно ниже. Прибор оказался также более эффективно изолирован электрически от корпуса самолета, который всегда был основным источником шума в полетных данных. Это привело к увеличению SNR для прибора AIS-2. В воздухе на испытательном полигоне величина SNR составляла 40-110 [23], а в лабораторных условиях - примерно на 30 % больше. Другие улучшения в цепи сигнала позволяли записывать данные на ленту высокой плотности при оцифровке данных с разрядностью в 12 бит (по сравнению с 8 бит в гиперспектрометре AIS-1).

Введенные в прибор переключаемые интерференционные блокирующие фильтры, которые попеременно устанавливаются перед матричным приемником излучения, позволяют избежать проблемы наложения второго порядка на длинах волн за пределами 1.6 мкм и, тем самым, повышают достоверность регистрируемой информации [22, 23].

В гиперспектрометре AIS-2 были использованы два сменных фильтра [22]. Выбор типа фильтра запрограммирован в управляющем микрокомпьютере. Шаговый двигатель автоматически переводит необходимый фильтр в рабочее положение при выборе оператором режима работы прибора — «Tree» или «Rock».

ГИПЕРСПЕКТРОМЕТРЫ SISEX И HIRIS

Используемые в гиперспектрометрах AIS-1 и AIS-2 охлаждаемые матричные КРТ-детекторы были чувствительными в инфракрасной области спектра. Эти приемники с длинноволновой границей $\lambda_{rp} = 2.5$ и 4.7 мкм позже использовались в разработках гиперспектрометров космического базирования SISEX [9, 10, 15] и HIRIS [8, 12—16, 18, 19].

Гиперспектрометр SISEX (Shuttle Imaging Spectrometer Experiment) был создан для космического корабля многоразового использования Шаттл [10, 15], а гиперспектрометр HIRIS (High Resolution Imaging Spectrometer) создавался как прибор космического базирования с высоким спектральным разрешением. Но ни один из этих уникальных приборных комплексов так и не был запущен на орбиту [15].

Гиперспектрометр SISEX не вышел за пределы стадии проектирования из-за катастрофы Челленджера в 1986 г., а HIRIS, который планировался как инструмент, чтобы летать на первой платформе EOS, был исключен из программы EOS по причине финансовых ограничений [15].

Несмотря на то что некоторые впечатляющие результаты были достигнуты с помощью приборов типа AIS, качество полученных данных не были высокими. Но за этот период эти приборы претерпели много изменений и улучшений. Они продолжали работу до начала эксплуатации нового авиационного гиперспектрометра AVIRIS в 1987 г. [23].

выводы

Создание гиперспектральных методов и приборов для ДЗЗ (космических систем и систем подспутниковой валидации — бортовых платформ авиационного базирования и наземных систем) продемонстрировало, что спектроскопия изображения (Imaging Spectroscopy) является ценным инструментом для количественной оценки соответствующих параметров, поддерживающих процессы для наземных экосистем.

В данной работе рассмотрены особенности конструкций первых бортовых гиперспектрометров авиационного базирования AIS-1 и AIS-2 для спектрометрического исследования земной поверхности. В них впервые были использованы матричные фотоприемники, охлаждаемые жидким азотом, работающие в широком спектральном диапазоне в ближней ИК-области спектра, в сочетании с оригинальными вращающимися дифракционными решетками и полосовыми фильтрами для отрезания спектров высших порядков.

Эти приборы стали своего рода испытательным полигоном при создании следующих поколений бортовой гиперспектральной аппаратуры авиационного и космического базирования.

Приборы типа AIS претерпели много изменений и улучшений. Они продолжали работу до начала эксплуатации нового авиационного гиперспектрометра AVIRIS в 1987 г.

Работа поддержана и ведется в рамках проекта УНТЦ № 5240.

- Андрианов В. Ю. Англо-русский толковый словарь по геоинформатике [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.dataplus.ru/Dict/show.asp?ID=1960
- 2. Донець В. В. Обгрунтування структури апаратурнопрограмного комплексу для дистанційного зондування рослинності в польових умовах: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 2010. — 19 с.
- Донець В. В., Пономаренко С. О., Яценко В. О. Двоканальний авіаційний гіперспектрометр для безпілотних носіїв // Актуальні проблеми авіаційної техники: Ювілейна наук.-прак. конф., 7—8 квітня 2011 р., Київ: Тез. доп. та виступів. — Київ, 2011. — С. 39.
- Ковров А. Гиперспектральное оборудование для авиационного дистанционного зондирования [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.gisa.ru/ 75392.html
- Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. — М.: Техносфера, 2010. — 560 с.
- Bergman S. M. The utility of hyperspectral data to detect and discriminate actual and decoy target vehicles [Электронный ресурс]. — Lieutenant, United States Navy B. A., University of New Mexico, 1989. — Режим доступа: http://www.nps.edu/faculty/olsen/Student_theses/bergman.pdf
- Chapter 1. The Nature of Remote Sensing (Remote Sensing Models and Mechods for Imaging Processing by Robert Schowengerdt [Электронный ресурс]. — USA, 2007. — Режим доступа: http://v5.books.elsevier.com/ bookscat/samples/9780123694072/9780123694072.PDF

ISSN 1561-8889. Космічна наука і технологія. 2012. Т. 18. № 5

- Dozier J., Goets A. F. H. HIRIS-Eos instrument with high spectral and spatial resolution // Photogrammetria. — 1989. — 43. — Р. 167—180. — Режим доступа: http:// www2.bren.ucsb.edu/~dozier/Pubs/DozierGoetz1989. pdf
- Fay M. E. An analysis of hyperspectral imagery data collecte during operation desert radiance [Электронный pecypc]. — Monterey, California, 1995. — Режим доступа: http://www.nps.edu/faculty/olsen/Student_theses/ Fay_Jun_1995.pdf
- Goetz A. F. H. Shuttle imaging spectrometer experiment // Proc. Pecora VIII Symp.: Satellite Land Remote Sensing Advancements for the Eighties. – ND, USA: Augustana Coll, Sioux Falls., 1983. – P. 355.
- Goetz A. F. H. The portable instant display and analysis spectrometer (PIDAS) // Proceedings of the Third Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop. JPL Publication N 88-13756. — 1987. — 87–30. — Р. 8— 17. — Режим доступа: http://ntrs.nasa.gov/archive/ nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19880004374 1988004374.pdf
- 12. Goetz A. F. H. The High Resolution Imaging Spectrometer (HIRIS) facility instrument for the first polar orbiting platform [Электронный ресурс] // Quantitative remote sensing: An economic tool for the Nineties; Proceedings of IGARSS '89 and Canadian Symposium on Remote Sensing, 12th, Vancouver, Canada, July 10–14, – 1989. – Vol. 5 (A91-15476 04-43). – P. 2922–2924. – Режимдоступа: http://adsabs.harvard.edu/abs/1989qrse. conf.2922G
- Goetz A. F. H. Imaging Spectrometry for Studying Earth, Air, Fire and Water // Earsel Adv. Remote Sens. — 1991. — 1, N 1. — Р. 3—15. — Режим доступа: http://www.earsel. org/Advances/1-1-1991/1-1 01 Goetz.pdf
- 14. Goetz A. F. H. Imaging spectrometry for Earth observations // Episodes. — 1992. — 15, N 1. — Р. 7—14. — Режимы доступа: http://geosocindia.org/episodes/www/ backissues/151/Articles-7.pdf, http://www.episodes.co. in/www/backissues/151/Articles-7.pdf
- 15. *Goetz A. F. H.* Three decades of hyperspectral remote sensing of the Earth: A personal view // Remote Sens. Environ. — 2009. — **113**. — P. S5—S16. — Режим доступа: ftp://laspftp.colorado.edu/pub/harvey/Gamblin/IDL_ code/Geotz_2009.pdf
- Goetz A. F. H., Herring M. High Resolution Imaging Spectrometer (HIRIS) for EOS // Digest International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). 1987. P. 367–372.
- Goetz A. F. H., Vane G., Soloman J. E., Rock B. N. Imaging spectrometry of Earth remote sensing // Science. – 1985. – 228, N 4704. – P. 1147–1153.
- MacDonald J., Ustin S. L., Schaepman M. A review of the contributions of Dr. Alexander F. H. Goetz to imaging spectrometry [Электронный ресурс]. — Режим досту-

ISSN 1561-8889. Космічна наука і технологія. 2012. Т. 18. № 5

na: http://webdocs.dow.wur.nl/internet/grs/Workshops/ Environmental_Applications_Imaging_Spectroscopy/1_ MacDonald_GoetzAchievements/MacDonald_ GoetzAchievements.pdf

- MacDonald J. S., Ustin S. L., Schaepman M. E. The contributions of Dr. Alexander F. H. Goetz to imaging spectrometry // Remote Sens. Environ. – 2009. – 113. – P. S2–S4. – Режим доступа: http://www.geo.uzh.ch/ microsite/rsl-documents/research/Spectrolab/Publications/peer-reviewed-articles/2009_Goetz_RSE_JMD-2584960768/2009_Goetz_RSE_JMD.pdf
- 20. Sanders L. C. An atmospheric correction algorithm for hyperspectral imagery [Электронный ресурс] // A dissertation. September 1999. Режим доступа: http://www.cis.rit.edu/~cnspci/references/theses/phd/sanders1999.pdf
- 21. Vane G., Goetz A. F. H. Proceedings of the Airbore Imaging Spectrometer // Data Analysis Workshop April 8—10, 1985, JPL publication 85-41. — June 15, 1985. — Режим доступа: http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs. nasa.gov/19860002151_1986002151.pdf
- 22. Vane G., Goetz A. F. H. Introduction to the proceedings of the second airborne imaging spectrometer (AIS) data analysis workshop // Proceedings of the Second Airbore Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop May 6 — 8, 1986, JPL publication 86-35. — August 15, 1986. — P. 1—16. — Режим доступа: http://ntrs.nasa.gov/archive/ nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19870003535_1987003535.pdf
- 23. Vane G., Goetz A. F. H. Terrestrial Imaging Spectroscopy // Remote Sens. Environ. — 1988. — 24. — Р. 1—29. — Режим доступа: http://optics.marine.usf.edu/~hu/scratch/ SHORE/pdf/RSE_Vane_Goetz_HRS_1988.pdf
- Vane G., Goetz A. F. H., Wellman J. B. Airborne imaging spectrometer: a new tool for remote sensing // Proc. 1983 Int'l. Geoscience and Remote Sensing Symp. –1983. – IEEE Cat N 83 CH1837-4.
- Vane G., Goetz A. F. H., Wellman J. B. Airborne Imaging Spectrometer: A new tool for earth remote sensing // IEEE Trans. Geosci. and Remote Sens. - 1984. - GE-22 (6). - P. 546-549.

Надійшло до редакції 17.04.12

V. V. Donets

DESIGN FEATURES OF ON-BOARD AIR-BASED HYPERSPECTROMETERS AIS

Some design features of the on-board air-based hyperspectrometers AIS-1 and AIS-2 for spectrometric remote sensing of the Earth's surface and for satellite data validation are considered. The technological advances realized and approved in the case of the hyperspectrometers AIS are used for the spacebased hyperspectrometers SISEX (1990) and HIRIS (1994).