

І.А. Беспалко, інж.-програміст
В.С. Герасимов, ст. офіцер
Д.В. Пекарєв, к.т.н., с.н.с.
П.М. Піонтківський, к.т.н., с.н.с.
Військова частина, м. Житомир
Р.В. Грищук, к.т.н.

*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету*

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ЗНІМАННЯ

Розглянуто світові тенденції розвитку космічних систем гіперспектрального знімання та основні завдання, що вирішуються за їх допомогою, надано координатну та некоординатну інформацію про космічні апарати з гіперспектральною бортовою апаратурою. Проаналізовано особливості, що притаманні космічним системам гіперспектрального знімання, та запропоновано їх врахування при здійсненні класифікації космічних апаратів в умовах недостатності апріорної інформації.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Розвиток технологій та технічних засобів космічної зйомки сприяє застосуванню гіперспектрального знімання (ГСЗ) для підвищення ефективності видового космічного спостереження [1]. Гіперспектральні зображення мають порівняно невисоке просторове розрізнення. Водночас, внаслідок великого об'єму, їх попередня обробка та топографічна прив'язка потребують багато часу для обробки на сучасних електронно-обчислювальних засобах. Не зважаючи на це, існує світова тенденція активізації використання гіперспектральної інформації для інтерпретації та уточнення характеристик об'єктів спостереження [2]. Характерно, що інші системи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) (порівняно з системами ГСЗ), іноді взагалі не дають позитивних результатів, що свідчить про унікальність та перспективу даної технології.

Основними напрямками вирішення прикладних завдань з використанням можливостей ГСЗ є:

виявлення цілей (об'єктів) – виявлення окремих необхідних властивостей (характеристик) схожих об'єктів або частин одного об'єкта, які не можуть бути отримані оптико-електронними чи радіолокаційними засобами, або виявлення об'єктів, розмір яких менший за номінальний розмір пікселя;

розпізнавання матеріалів – аналіз даних ГСЗ для розпізнавання, складання карт матеріалів, оцінки географічних зон їх поширення;

диференціація матеріалів – розрізнення матеріалів зі схожими спектральними характеристиками;

класифікація поверхні – виявлення особливостей поверхні, які не можуть бути розпізнані (виявлені) на інших знімках.

На відміну від мультиспектральних зображень, дані ГСЗ більш детально відображають спектральні характеристики об'єктів земної поверхні. Саме це дозволяє проводити детальну класифікацію поверхонь, створювати спектральні бібліотеки елементів та комплексів складних екосистем Землі, окремих об'єктів (матеріалів) на базі гіперспектральних знімків, підвищувати точність застосування інших даних ДЗЗ у багатьох прикладних областях.

Враховуючи можливості застосування технологій ГСЗ, їх унікальність та незамінність для вирішення окремих важливих специфічних завдань, відносно малий термін використання при створенні бортової спеціальної апаратури космічних апаратів (КА) та невелику кількість досліджень, що проводяться вітчизняними фахівцями за цим напрямком, актуальним є питання аналізу стану та перспектив розвитку іноземних космічних систем даного типу з метою подальшого врахування особливостей їх застосування, вирішення задачі класифікації космічних систем та визначення можливості і доцільності створення систем ГСЗ для потреб нашої держави.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на те, що КА з апаратурою ГСЗ з'явилися порівняно недавно (з 1997 року), гіперспектральне знімання останнім часом все частіше та ефективніше використовується у різних прикладних областях [1, 2]. Пріоритетними є області, які мають економічний ефект:

сільське	господарство,	пошук	корисних	копалин,
----------	---------------	-------	----------	----------

дослідження ресурсів морів та океанів, а також сфера безпеки: виявлення ознак виготовлення (наявності) токсичних речовин, зброї масового ураження (ЗМУ) тощо. Позитивні результати отримано також при використанні методів ГСЗ для екологічного моніторингу забруднень ґрунтів, вод, повітря [2].

Особливу увагу приділяють використанню ГСЗ для виконання завдань видового космічного спостереження в інтересах збройних сил [3, 4]. Як і більшість передових розробок, розвиток систем ГСЗ починався саме у військовій сфері. Перспективним у даному напрямку є комплексування даних ГСЗ об'єктів з даними високого просторового розрізнення.

На теперішній час збільшується кількість КА, обладнаних апаратурою ГСЗ, покращуються характеристики бортової спеціальної апаратури, розвиваються технології обробки та використання даних ГСЗ.

Гіперспектральний аналіз великих об'ємів даних потребує багато часу, сучасних електронно-обчислювальних засобів, великих обсягів пам'яті для зберігання інформації та бази спектральних характеристик, але вдосконалення технологій комп'ютерного дешифрування, при якому використовуються спеціалізовані програмно-технічні комплекси, розробка методик та алгоритмів автоматизованої обробки даних ГСЗ сприяє розвитку застосування даних від гіперспектральних систем в різних сферах життєдіяльності.

Однак, слід зазначити, що незважаючи на безумовні переваги, унікальність та незамінність космічних систем ГСЗ для вирішення широкого кола завдань в Державній цільовій науково-технічній космічній програмі України на 2008–2012 рр. не передбачено розробку, створення чи закупівлю апаратури ГСЗ для перспективних вітчизняних КА видового спостереження, лише в Плані заходів виконання Концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року, затвердженого Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 25.01.2012 р. № 48-р, на четвертому етапі (2029–2032 роки) передбачено створення та запуск одного КА з бортовим гіперспектральним сканером.

Завдання дослідження. Через відносно невеликий строк застосування КА з апаратурою ГСЗ, використання деяких з них для вирішення військових завдань спостерігається відсутність систематизованої інформації про орбітальні параметри, характеристики КА та апаратури даного типу. Отже, для визначення можливості врахування застосування іншими країнами (організаціями) КА з апаратурою ГСЗ, вирішення задачі класифікації космічних систем в умовах недостатності апріорної інформації, доцільності створення систем ГСЗ для України необхідно детально проаналізувати характеристики цих систем та виявити особливості, що притаманні саме КА ГСЗ.

Метою статті є збір, систематизація та ретроспективний аналіз даних про характеристики КА, обладнаних апаратурою ГСЗ; сканери ГСЗ; виявлення особливостей, притаманних космічним системам даного типу.

Викладення основного матеріалу. Дослідження у галузі ДЗЗ за допомогою ГСЗ беруть початок із розробки та застосування сенсора авіаційного базування – AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer). Практично одразу після отримання позитивних результатів даного проекту розпочались роботи над апаратурою ГСЗ космічного базування.

Перший КА ГСЗ Lewis був розроблений США для відпрацювання апаратури ГСЗ, але через збої у роботі системи стабілізації КА втратив управління після виведення на опорну орбіту і невдовзі був втрачений. Незважаючи на це, досвід, отриманий при його розробці, був використаний Міністерством оборони (МО) США при створенні наступних КА ГСЗ.

Аналіз діючого угруповання КА показує, що на початок 2012 року на навколосезній орбіті функціонують 5 КА, обладнаних апаратурою ГСЗ. В зв'язку з тим, що деякі КА ГСЗ використовуються у військовій сфері, іноді спостерігаються факти приховування дійсного призначення КА. На основі аналізу друкованих [1, 6–8] та електронних [9, 10] джерел у таблиці 1 наведено основну координатну та некоординатну інформацію щодо КА ГСЗ, аналіз якої дозволяє при плануванні виведення КА на орбіту або одразу після його виведення в умовах відсутності достатньої кількості даних класифікувати КА та зробити попередні висновки щодо умов його застосування, можливостей бортової спеціальної апаратури та режимів зйомки тощо.

У таблиці 2 наведено завдання нефункціонуючих, діючих та перспективних КА ГСЗ та основні тактико-технічні характеристики їх бортової спеціальної апаратури.

Таблиця 1

Основна координатна та некоординатна інформація про КА, обладнані бортовою спеціальною апаратурою ГСЗ (нефункціонуючі, діючі та перспективні)

Назва КА / рік виведення на орбіту / стан	Держава / оператор системи	Полігон запуску, стартова площадка	Ракета-носії (РН)	Розмір головного обтічника РН, м	Вага КА, кг	Апогей × перигей орбіти, км	Нахил площини орбіти, град.	Ширина смуги зйомки, км	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Lewis / 1997 р. / зведений з орбіти	США / NASA	База ВПС США, Ванденберг, SLC-6	Athena-1 (LMLV-1)	2,34	288	523×523	97,5	7–13	
MightySat-II (Sindri) / 2000 р. / зведений з орбіти	США / NASA (ВПС США)	База ВПС США Ванденберг, SLC-8	Minotaur-1	1,27	130	556×556	98,0	7,5–30	
Наукова програма Earth Science Enterprise	Terra / 1999 р. / діючий	США / NASA	База ВПС США Ванденберг, SLC-3E	Atlas-2 AS	3,3	5190	700×700	98,2	60, 360, 640, 2300
	Aqua / 2002 р. / діючий		База ВПС США Ванденберг, SLC-2W	Delta-II (7920)	2,9–3	2934	700×700	98,2	60, 800, 2300
EO-1 (Earth Observing-1) / 2000 р. / діючий	США / NASA (ВПС США)	База ВПС США Ванденберг, SLC-2W	Delta-II (7320)	3	573	690×680	98,1	7,5 185	
MTI (Multispectral Thermal Imager) / 2000 р. / не функціонує	США / Управління по національній безпеці і нерозповсюдженню ЗМУ	База ВПС США Ванденберг, 576E	Taurus 1110	1,6	587	609×574	97,4	12 48	
PROBA-1 (Project for OnBoard Autonomy) / 2001 р. / діючий	Бельгія-Великобританія / ЄКА	Шріхарікота (Індія)	PSLV (2)	2,65 (3,2)*	94	650×640	97,5	15	
OrbView-4 / 2001 р. / невдалий запуск	США / NASA	База ВПС США Ванденберг, 576E	Taurus 2110	1,6	368	550×550	97,3	5	
Chandrayaan-1 (Hyper Spectral Imager) / 2008 р. / не функціонує	Індія / ISRO	Шріхарікота (Індія)	PSLV-XL	3,2	стартова-1304 орбітальна-590	КА на орбіті біля Місяця	–	20	
Експеримент на Міжнародній космічній станції (МКС) HREP (HICO-RAIDS Experiment Payload) / 2009–2010 рр.	США та Японія / JAXA та NASA	Tanegashima (Японія)	HTV-1	4,4	500	405×375	51,6	45	
TacSat-3 (Tactical Satellite 3) / 2009 р. / діючий	США / Air Force Space Command	Wallops Island VA, (США)	Minotaur-1	1,27 (1,55)*	400	360×350	40,5	н/д	

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
NEMO (Naval Earth Map Observer) / – / планується	США / BMC США	Шріхарікота (Індія)	PSLV-CA	3,2	229	605×605	97,81	30
Sentinel-2A / 2013 р. / планується	ЄКА	Плесецьк (РФ)	Рокот-М	2,26	1100	786×786	~97–98	290
Sentinel-2B / 2013 р. / планується		Куру (Фр. Гвіана)	Vega	1,9			~97–98	
ALOS-3 / 2014 р. / планується	Японія / JAXA	Tanegashima (Японія)	H2-A	~4	~4000	620×620	97,9	50
Aries (Australian Resource Information and Environmental Satellite) / – / планується	Австралія / ACRES	н/д	н/д	н/д	400	450×450	~90	н/д
EnMAP (Environmental Monitoring and Analysis Programme) / – / планується	Німеччина / DLR	Шріхарікота (Індія)	PSLV-CA (KA SAR-Lupe)	3,2	870	643×643	97,96	30 (довжина – 5000)
HYPSEO (HyperSpectral Earth Observer) / – / планується	Італія / ASI	Куру (Фр. Гвіана)	Vega	1,9	300	620×620	97,8	20
Spectre (АММ)* / – / планується	Великобританія / Sira Electro-Optics Ltd та Astrium	н/д	н/д	н/д	200	512×512	~97–98	30
Астрогон-Вулкан / – / планується	Російська Федерація	н/д	н/д	н/д	300	н/д	н/д	н/д
Астрогон / – / планується	Російська Федерація	н/д	н/д	н/д	120	500×500	н/д	н/д
Службовий модуль МКС Альфа / – / планується	Російська Федерація	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д

Примітки: * – дані з інших джерел; н/д – немає даних

Таблиця 2

Основні завдання КА ГСЗ та тактико-технічні характеристики їх бортової спеціальної апаратури

Назва КА		Назва сенсора	Кількість каналів	Радіометричне розрізнення, біт [спектральне розрізнення, нм]	Спектральний діапазон, мкм	Просторове розрізнення, м	Завдання, що вирішуються, галузь застосування даних ГСЗ
1	2	3	4	5	6	7	
Lewis		HSI (Hyper-Spectral Imager)	384	12, [5–6,5]	0,4...2,5	30	Тестування апаратури ГСЗ
MightySat-II (Sindri)		FTHSI (Fourier Transformation Hyper-Spectral Imager)	145 (256)*	8 або 12, [1,7]	0,35...1,05 (0,45...1,05)*	вздовж траси 30...250; уперек – 26...51	Тестування апаратури ГСЗ та методів виявлення замаскованих об'єктів
Наукова програма Earth Science Enterprise	Terra	ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	14	8, [6–10]	3 зони: 0,52–0,86	15	Збір інформації про стан та зміни біосфери Землі
				8, [4–10]	6 зон: 1,6–2,43	30	
				8, [35–70]	5 зон: 8,125–11,65	90	
	Aqua	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	36	12, [3,5–5]	2 зони: 0,6–0,9	250	
				12, [1–1,5]	5 зон: 0,4–2,2	500	
12, [1,5–30]	29 зон: 0,4–14,4	1000					
EO-1 (Earth Observing-1)		Hyperion	220 (242)*	12 (16)*, [10]	0,43...2,4 (2,5)*	30	Комерційні та військові
MTI (Multispectral Thermal Imager)		MTI	15	н/д	0,45...1,39	н/д	Тестування апаратури і методів виявлення для військових завдань, екологічний моніторинг
		HXRS	4	н/д	0,45...0,86	5	
			11	н/д	0,86...10,7	20	
PROBA-1 (Project for OnBoard Autonomy)		CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectrometer)	19	[5–12]	0,415...1,05	20	Тестування перспективних технологій ГСЗ
OrbView-4		Warefighter-1	250 (200)*	[11,4] [11,4] [11,4] [25]	0,45...0,905 0,83...1,74 1,58...2,49 3,0...5,0	8	Одержання даних ГСЗ в комерційних інтересах
Chandrayaan-1		HySI (Hyper-spectral Imager)	32	[15]	0,4...0,95	80	Розширення наукових знань про Місяць

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
Експеримент на МКС HREP (HICO-RAIDS Experiment Payload)	HICO (Hyper-spectral Imager for the Coastal Ocean)	н/д	[5,7]	0,38...1,0	90	Відпрацювання перспективних технологій ГСЗ для аналізу морської та берегової обстановки
TacSat-3 (Tactical Satellite 3)	ARTEMIS (Advanced Responsive Tactically-Effective Military Imaging Spectro-meter)	400	[5]	0,4...2,5	4	Відпрацювання перспективних технологій ГСЗ, квазіреальної передачі даних ГСЗ
NEMO (Naval Earth Map Observer)	COIS (Coastal Ocean Imaging Spectro-meter)	210 (220)*	[10]	0,4...2,5	30–60	Забезпечення національної безпеки, контроль надзвичайних ситуацій, моніторинг морської поверхні
Sentinel-2A, 2B	н/д	13	12	н/д	10/20/60	Відпрацювання перспективних технологій ГСЗ, екологічний та океанічний моніторинг
ALOS-3	HMSS (Hyper-Multispectral Sensor)	57; 128	12, [10], [12,5]	0,4 ... 0,97 0,9 ... 2,5	30 30	
Aries (Australian Resource Information and Environmental Satellite)	н/д	32; 32	[20] [16]	0,40...1,05 2,00...2,50	30	Метеорологія та дослідження вегетаційних індексів рослинності
EnMAP (Environmental Monitoring and Analysis Programme)	DAIS	79	[10]	0,4...12,3	20–30	Детальний моніторинг ґрунтів, рослинності, внутрішніх і прибережних вод
HYPSEO (Hyper-Spectral Earth Observer)	HYC (Hyper-spectral Camera)	60	[10]	0,4...2,5	20...50, 300	Забезпечення національної безпеки, контроль надзвичайних ситуацій, моніторинг земної та морської поверхонь
Spectre (АММ)*	CHRIS (Compact High Resolution Imaging Spectro-meter)	256	[10]	0,41...1,05 1,05...2,5	30	Відпрацювання перспективних технологій ГСЗ
Астрогон-Вулкан	Астрогон-1	500	[1]	0,25...2,5	2...3	
Астрогон	Реагент	700... 1000	[0,5...100]	0,2...0,9; 1...1,4	5	
Службовий модуль МКС Альфа	Юникон-В	256, (10– 100)**	[4–8]	0,5...0,8	20	

Примітки: * – дані з інших джерел; ** – використовуються для зйомки одночасно; н/д – немає даних

Аналіз даних таблиці 1 показує, що діючі КА ГСЗ земної поверхні мають США, Бельгія та Великобританія (ЄКА). Ведуться розробки апаратури, а в перспективі на найближчі два-три роки передбачається виведення на орбіту КА ГСЗ ЄКА, США, РФ, Японією, Італією, Великобританією, Німеччиною та Австралією. Отже, відомства країн, що є провідними у галузі застосування космічної техніки, приділяють значну увагу отриманню та застосуванню даних ГСЗ.

На основі аналізу даних таблиць 1, 2 можливо визначити ознаки, що притаманні КА ГСЗ. Врахування ознак цих та інших космічних систем дозволить в умовах недостатності апріорної інформації про КА, що виводяться на орбіту, вірно класифікувати їх з великою імовірністю. Такими основними ознаками є:

- полігон запуску КА (космодром), з якого планується або було здійснено запуск КА;*
- ракета-носій (її клас), що планується до використання чи використана для виведення КА на орбіту;*
- оцінка необхідності заміни КА, що відпрацював свій гарантований строк функціонування, чи доповнення (розгортання) орбітального угруповання;*
- азимут пуску ракети-носія, що дозволяє визначити (уточнити) значення нахилу площини орбіти КА до його запуску (при заявленому азимуті запуску) або відразу після запуску;*
- нахил площини орбіти КА;*
- розмір головного обтічника ракети-носія тощо.*

Незважаючи на невелику на теперішній час кількість КА ГСЗ, аналіз їх використання, орбітальних параметрів та тактико-технічних характеристик бортової спеціальної апаратури дозволяє визначити ряд характерних особливостей:

- призначення КА ГСЗ переважно має як комерційну, так і військову компоненти;
- гіперспектральні дані у більшості випадків використовуються для доповнення (уточнення, підтвердження) даних, отриманих апаратурою КА високого розрізнення видимого та інфрачервоного діапазонів;
- для виведення КА ГСЗ переважно використовуються РН малого та середнього класів;
- КА ГСЗ виводяться та функціонують на кругових сонячно-синхронних орбітах з нахилом площини орбіти $\sim 97\text{--}98^\circ$ та висотою від 500 до 700 км;
- на даний час нехарактерне створення угруповань (систем) КА з апаратурою ГСЗ, як правило, використовуються окремі КА з апаратурою ГСЗ.

Провідні держави світу приділяють значну увагу розробці орбітального та наземного сегмента ГСЗ. Так, наприклад, у 1995 році вартість розробки гіперспектральної апаратури компанією TRW Inc. склала близько 10,2 млн. дол. США. Реалізацію проекту КА OrbView-4 здійснювала фірма Orbimage за фінансової підтримки МО США, у 1997 році Військово-повітряні сили (ВПС) США підписали із цією фірмою контракт вартість якого склала близько 32 млн. дол. США, пізніше вартість контракту зросла до 42 млн. дол. США. Вартість робіт за проектом EO-1 склала близько 193 млн. дол. США при розрахунковій вартості 90 млн. дол. США. Сумарна вартість запуску КА Chandrayaan-1 оцінюється близько 80,8 млн. дол. США – рекорд для індійської космонавтики. Вартість розробок КА TacSat-3 склала

близько 60 млн. дол. США, а на КА NEMO заплановано витратити близько 71 млн. дол. США. Крім того, США планують, що прийом гіперспектральних даних будуть здійснювати станції на Алясці та у Норвегії. Всі дані передбачається архівувати, а фірма Eastman Kodak Corp. буде здійснювати їх обробку на замовлення (вартість робіт щодо створення центру обробки становитиме близько 150 млн. дол. США).

Крім того, у даній області проводиться велика кількість експериментів. Так Федеральне космічне агентство “Роскосмос” (РФ) оголосило конкурс на створення оптико-електронного космічного комплексу дослідження природних ресурсів Землі Ресурс-П. Вартість контракту – близько 4,728 млрд. крб. (158,8 млн. дол. США). У межах контракту планується створення двох КА і відповідної наземної інфраструктури для високодетального, детального ширококутового та гіперспектрального оптико-електронного спостереження земної поверхні. Систему передбачається застосовувати для інвентаризації та моніторингу природних ресурсів, контролю за господарськими процесами й забезпечення раціональної діяльності у сільській, лісовій, рибній, водній та інших галузях господарства [6].

Вартість даних ГСЗ, порівняно з даними, отриманими за допомогою радіолокаційної та оптико-електронної апаратури, у рази більша. Так вартість архівних знімків з КА ГСЗ EO-1 становить 495 дол. США (з радіометричною корекцією) та 850 дол. США (з корекцією на рельєф) за сцену (7,7×42 км або 7,7×185 км), при замовленні зйомки вартість зростає до 1700 та 2120 дол. США за сцену відповідно. В той же час, при замовленні вартість знімків КА радіолокаційної зйомки ERS (просторове розрізнення – 25 м) становить 400 дол. США за сцену (100×100 км), а КА оптико-електронної зйомки ALOS (просторове розрізнення – 10 м) – 720 дол. США за сцену (35×35 км).

Висновки:

1. Розробка, створення та використання космічних систем ГСЗ є перспективним напрямком розвитку дистанційного зондування Землі з космосу. Наявність завдань, які можливо вирішити лише за допомогою систем ГСЗ, подальше покращання їх тактико-технічних характеристик свідчить про

актуальність досліджень у цій сфері. Використання іноземними державами космічних систем ГСЗ, які виконують військові завдання, обумовлює необхідність дослідження питань врахування їх застосування за цільовим призначенням.

2. Аналіз застосування КА ГСЗ, параметрів їх орбіт, тактико-технічних характеристик бортової спеціальної апаратури свідчить про наявність характерних особливостей, притаманних КА такого типу, що дозволяє в умовах недостатності апріорної інформації про виведений на орбіту КА класифікувати його з певною імовірністю. З метою підвищення достовірності класифікації КА за запропонованими та іншими ознаками необхідно проведення подальших досліджень щодо розширення кола ознак, притаманних іншим космічним системам, проведення аналізу можливості їх використання при класифікації різних космічних систем та розробки математичного апарата, алгоритмів і методик класифікації космічних систем (космічних апаратів) в умовах недостатності апріорної інформації.

Список використаної літератури:

1. Попов М.О. Гіперспектральна аерокосмічна інформація у виявленні та спостереженні об'єктів / М.О. Попов, С.А. Станкевич, В.Д. Молдован // Наука і оборона. – 2006. – № 3. – С. 25–35.
2. Landgrebe D.A. Hyperspectral Image Data Analysis / D.A. Landgrebe // IEEE Signal Processing Magazine, 2002. – Vol. 17. – № 1. – Pp. 17–28.
3. Попов М.О. Можливості та перспективи космічних систем видової розвідки і спостереження в контексті національних інтересів / М.О. Попов, Є.І. Махонін, В.І. Присяжний // Наука і оборона. – 2008. – № 2. – С. 41–52.
4. Станкевич С.А. Аналіз завдань видової космічної розвідки, які можуть бути вирішені за допомогою гіперспектрального знімання / С.А. Станкевич, О.Б. Захаров // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 4 (20). – С. 57–61.
5. Пекарєв Д.В. Варіант системи класифікації хибних штучних об'єктів військового призначення / Д.В. Пекарєв, П.М. Пionтківський, А.В. Савчук // Збірник наукових праць ЖВІ НАУ. – 2010. – Вип. 3. – С. 129–137.
6. Кучейко А. Российские перспективы в гиперспектре / А.Кучейко // Новости космонавтики. – 2001. – № 7 (222). – С. 44.
7. Уманский С.П. Ракеты-носители. Космодромы / С.П. Уманський ; под ред. Ю.Н. Контева. – М. : Рестарт, 2001. – 216 с.
8. Малые космические аппараты. В 3 кн. Кн. 3. Миниспутники. Унифицированные космические платформы для малых космических аппаратов : справоч. пособие / В.Н. Блинов, Н.Н. Иванов, Ю.Н. Сеченов и др. – Омск : ОмГТУ, 2010. – 348 с.
9. Електронний ресурс. – Режим доступу : www.skyrocket.de.
10. Електронний ресурс. – Режим доступу : www.eoportal.org.

БЕСПАЛКО Ірина Анатоліївна – інженер-програміст відділу військової частини.

Наукові інтереси:

- дослідження функціонування та застосування космічних систем;
- алгоритми класифікації космічних систем.

ГЕРАСИМОВ Володимир Сергійович – старший офіцер відділу військової частини.

Наукові інтереси:

- дослідження функціонування та застосування космічних систем;
- алгоритми класифікації космічних систем.

ПЕКАРСВ Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник відділу військової частини.

Наукові інтереси:

- алгоритми функціонування складних інформаційних систем;
- оптимізація застосування космічних систем.

ПІОНТКІВСЬКИЙ Петро Миколайович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу військової частини.

Наукові інтереси:

- інформаційні системи прийняття рішень;
- застосування космічних систем.

ГРИЩУК Руслан Валентинович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник лабораторії наукового центру Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- інформаційна безпека;
- системи дистанційного зондування Землі.

Стаття надійшла до редакції 07.02.2012

УДК 629.78:528.711+528.88

Анализ особенностей космических систем гиперспектральной съемки / И.А. Беспалко, В.С. Герасимов, Д.В. Пекарев, П.Н. Пионтковский, Р.В. Грищук

Рассмотрены мировые тенденции развития космических систем гиперспектральной съемки, решаемые с их помощью основные задачи, представлено координатную и некоординатную информацию о космических аппаратах с гиперспектральной бортовой аппаратурой. Проанализированы особенности, которые свойственны космическим системам гиперспектральной съемки, предложено учитывать их при проведении классификации космических аппаратов в условиях недостатка априорной информации.

УДК 629.78:528.711+528.88

Analysis of the hyperspectral space systems characteristics / I.A. Bespalko, V.S. Gerasimov, D.V. Pekarev, P.M. Piontkivsky, R.V. Grischuk

The global development trends of hyperspectral space systems, as well as tasks to solve with their help are considered. The coordinate and non-coordinate information about spacecraft with onboard hyperspectral equipment are given. The features inherent hyperspectral space systems are analyzed. We suggest taking it into account when making classification of the spacecraft in a lack of apriority information.