

УДК 621.396

С.В. Козелков¹, Д.П. Пашков²¹ *Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління, Київ*² *Національна академія оборони України, Київ*

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Застосування космічних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) можливо не тільки для вирішення завдань соціально-економічних, але і завдань, пов'язаних з підвищенням національної безпеки і обороноздатності держави. На основі аналізу бортового спеціального комплексу космічних апаратів у статті представлені перспективні напрямки використання космічних систем спостереження і проблеми створення космічних систем ДЗЗ подвійного призначення.

Ключові слова: *аналіз, завдання, космічна система дистанційного зондування Землі, моніторинг.*

Вступ

Завдання протидії незаконним військовим формуванням стало актуальним у зв'язку з появою постійних як внутрішніх, так і зовнішніх суперечностей у всьому світі. До них в першу чергу відносяться такі, як розвиток тенденцій до розпаду федеральних, поліетнічних і поліконфесійних держав; загострення міжнародних економічних суперечностей; зростання кількості внутрішніх озброєних конфліктів етнічного і релігійного характеру, що супроводжується масовим знищенням мирного населення; численне порушення прав людини і зловживання силою; розповсюдження зброї масового ураження (перш за все це стосується країн близького сходу, держав африканського континенту, а також необхідно враховувати конфлікт між Індією і Пакистаном, країни, які володіють ядерною зброєю). Окрім цього, необхідно враховувати збільшення впливу міжнародного тероризму і транснаціональної організованої злочинності. У зв'язку з цим активізується діяльність недержавних суб'єктів політики у формі неконституційних військових формувань радикального напрямку [1]. При цьому, з кожним роком терористичні угруповання в своєму арсеналі починають володіти не тільки стрілецьким озброєнням, але і бойовими ракетними комплексами ближнього і середнього радіусу поразки.

Намагаючись захистити свої інтереси, розвинені країни прагнуть проводити фундаментальні дослідження, які пов'язані з підвищенням безпеки держави [1]. Одним із стратегічних напрямів для виявлення джерел небезпеки держави є використання інформаційних систем на основі сучасних технологій, і, в першу чергу, пов'язаних з космічними системами. Застосування космічних систем дозволяє вирішувати ряд пов'язаних завдань як соціально-економічних напрямів (дистанційного зондування Землі, зв'язок і передача даних, телебачення і радіомовлення, навігація, екологічний моніторинг, ви-

вчення природних катаклізмів та ін.), так і підвищення обороноздатності країни (картографія, місцевизначення небезпечних об'єктів, метеозабезпечення, штурманське забезпечення літальних об'єктів, розвідка, стратегічний і тактичний зв'язок та ін.) [1, 2, 3]. Проте створення космічних систем військового призначення обходиться досить дорого [3]. Тому для вирішення ряду військових завдань національної безпеки і обороноздатності держава залучає комерційні космічні системи, які здатні полегшити вирішення поставлених завдань [3].

Мета статті. В результаті вищевикладеного виникає необхідність запобігання терористичним актам, а також проведення антитерористичних операцій проти незаконних військових формувань з мінімальними витратами соціально-економічного характеру. У зв'язку з цим метою даної статті є пошук нових шляхів на основі використання космічних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) подвійного призначення (ДП), як альтернативного джерела інформації попередження про планування завдання ударів рухомими ракетними комплексами ближнього і середнього радіусу дії по наземних об'єктах (АЕС, хімічні сховища і так далі).

Аналіз області дослідження. Огляд останніх військових конфліктів в Персидській затоці, на території колишньої Югославії, в Афганістані, Грузії, свідчать про істотне збільшення ролі космічних апаратів бойового забезпечення [3, 4]. Окрім цього, наряду з використанням космічних систем розвідки ("KH-11", "KH-11a", "Helios-1", "Lacrosse" та ін.), активно застосовувалися комерційні космічні системи ДЗЗ ("Landsat", "SPOT", "Iconos-2", "Terra", "OrbView-2", "QuickBird-2") [3]. При цьому просліджується динаміка нарощування орбітального угруповання комерційних космічних апаратів (КА) у вказаних конфліктах. Це пов'язано в першу чергу з тим, що тактико-технічні характеристики бортових

систем КА ДЗЗ наближаються до характеристик КА військового призначення (табл. 1) [3].

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики існуючих космічних систем розвідки та ДЗЗ подвійного призначення

Космічна система (платформа)	Країна (агентство)	Сенсори	Просторова розрізненість на місцевості, м, у спектральному діапазоні						Ширина смуги охоплення, км	
			Панхроматичному	Видимому	БІЧ	СІЧ-А	СІЧ-В	ДІЧ		МРХ
“Key-Hole”	США	KH-11	0,15							
		KH-11A	0,1	0,25	0,25					
Iconos-2		PAN	1						11	
Landsat-5		MS		4	4				11	
		MSS		80	80				183	
Landsat-7		TM		30	30			120	183	
		ETM+	15	30	30	30	30	60	183	
EO-1		“Hyperion”		220 спектр. каналів з розрізненістю 30 м						7,7
		ALI		Те саме, 10 каналів						37
Quick-Bird		“Panchromatic”	0,61 (0,72)							16,5
		“Multi-spectral”		2,44 (2,88)						
TERRA		США, Японія	MODIS	36 спектральних каналів просторовою розрізненістю 250 м (день) або 1000 м (ніч)						
	ASTER		36 спектр. каналів з розрізненістю 15-30 м					90		
SPOT-4	Франція	HRVIR	10	20	20				60 (117-2 сенсори)	
SPOT-5		HRG	2,5-5,0	10	10				60 (117-2 сенсори)	
		HRS	10						120	
FSW-1	Китай	FOTO/CCD	10-15	10-15	50					
“Helios-2”	Франція, Італія, Іспанія	OEA/IR		0,5						
IRS-1D	Індія	PAN	5,8						63-70	
		LISS-III		23,5	23,5	70,5			127-141	
JERS-1	Японія	OPS		18x24	18x24				75	
		SAR						18	75	
EROS-A	Ізраїль	CCD	1,8						13,5	
“Комета”	Росія	KBP-1000	2							
“Ресурс-ФІМ”		TK-350		10						
		КФА-1000		5					70	
“Алмаз-1Б”		МСУ-Э2		10	10				45	
		МСУ-СК		140	140			550	600	
		PCA-3						5-7	330	
RADAR-SAT-1	Канада	SAR					25x28	100-510		
ERS-2	(ESA)	AM/SAR					30	100		
“Envisat”	(ESA)	MERIS		260x300					1150	

Проте організація і проведення сучасних операцій (бойових дій) угруповань військ (сил) вимагає якісно нового розвідувально-інформаційного забезпечення (РІО). При цьому інтеграція в єдине ціле автоматизованих системах засобів розвідки, поразки і управління, є одним з напрямів розвитку «інтелектуальних» засобів поразки для озброєної боротьби. При цьому як основні вимоги висуваються можливості розвідки по оперативності, глибині, кількості ідентифікуємих об'єктів, що розкриваються, точ-

ність визначення координат місцезнаходження, їх достовірність, а також по часу доставки інформації. Якнайповніше виконання вказаних вимог і потреб до РІО, є використання в першу чергу космічних систем ДЗЗ із застосуванням нових геоінформаційних технологій.

Виклад основного матеріалу

Для запобігання пуску як тактичних, так і оперативних ракет пропонується створити

глобальну космічну систему, яка здійснює цілодобовий моніторинг поверхні Землі.

Метою розгортання такої системи є запобігання пуску ракет, а також визначення місцезнаходження незаконних військових формувань. У своїй основі пропонується система спирається на використання як активних, так і пасивних систем бортового спеціального комплексу КА ДЗЗ, розміщених в космічному просторі на низьких орбітах (висота до 1000 км.), з можливістю застосування космічних апаратів малого класу (мікросупутник), що дає можливість понизити витрати всієї системи.

При цьому основним завданням даної системи є пошук, ідентифікація, інформаційне оповіщення і наведення (у реальному або квазіреальному масштабі часу) обширного набору активних і пасивних засобів перехоплення, що базуються на землі, в повітрі, космосі.

Це, в свою чергу, викличе різке падіння ефективності систем нападу при виконанні умови

$$t_{\text{п}} + t_{\text{і}} + t_{\text{пн}} + t_{\text{іс}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{готЗРК}} < t_{\text{готРК}} + t_{\text{х}} + t_{\text{кц}} + t_{\text{прив}}, \quad (1)$$

де $t_{\text{п}}$ – час пошуку об'єкту; $t_{\text{і}}$ – час ідентифікації об'єкту (проводиться на борту космічного апарату); $t_{\text{пн}}$ – час передачі інформації (у квазіреальному масштабі часу) на наземний інформаційний комплекс; $t_{\text{іс}}$ – час інформаційного сповіщення; $t_{\text{уп}}$ – час ухвалення рішення; $t_{\text{готЗРК}}$ – час готовності засобів перехоплення; $t_{\text{готРК}}$ – час підготовки засобів нападу; $t_{\text{х}}$ – час виведення засобів нападу на місце пуску ракет; $t_{\text{кц}}$ – час введення даних (уточнення польотного завдання, визначення координат цілі та ін.); $t_{\text{прив}}$ – час прив'язки і орієнтації засобів нападу.

Для зменшення часу інформаційного сповіщення засобів поразки і часу передачі інформації на засоби поразки пропонується розробити мобільний наземний інформаційний комплекс, який знаходиться у складі засобів перехоплення. Це дасть можливість скоротити час введення координат цілей і здійснити супровід цілі під час польоту.

Проте необхідно враховувати, що на етапі наведення можуть використовуватися помилкові або замасковані ракетні комплекси. Для вирішення даного завдання можна використовувати перспективні методи дистанційного зондування Землі – гіперспектральну зйомку [2], за допомогою якої формується декілька десятків і навіть сотень зображень у вузьких спектральних зонах (ділянках).

Основна ідея спектрометричної зйомки полягає в збільшенні розміру елементу зображення до тих пір, поки він не міститиме таку поверхню (об'єм), яка є характерною для об'єкту, що розпізнається, з погляду його спектральної сигнатури [2]. Окрім цього, гіперспектральним оптико-електронним засобам властивий ряд особливостей [2, 3].

По-перше, вони дозволяють використовувати при виявленні (знаходженні) і розпізнаванні об'єктів додатково спектральні ознаки. Розпізнавання об'єктів по спектральних ознаках знижує вимоги до просторового розрізнення. Це дозволяє використовувати датчики з відносно невеликими масою і габаритами і розмішувати їх на малих КА. Зниження вимог до просторового розрізнення дозволяє збільшити смугу захоплення (розмір кадру) за умови того ж формату багатоелементного фотоприймача.

По-друге, гіперспектральні дані «добре» піддаються комп'ютерній обробці, що дозволяє зменшити час обробки і використовувати операторів-дешифровальників нижчої кваліфікації (надалі «інтелектуальні» системи зможуть самі ухвалювати рішення). Для обробки гіперспектральних зображень використовується програмне забезпечення, яке включає геоінформаційні технології.

По-третє, особливістю гіперспектральної зйомки є те, що різні класи ділянок земної поверхні, об'єктів штучного і природного характеру мають ряд спектральних характеристик, які є унікальними для цих ділянок. При цьому основна увага приділяється проведенню вимірювань рівнів випромінювань, які відбиваються від елементу просторового розрізнення середніх і великих розмірів в кожній з декількох ділянок спектру.

В цьому випадку елементи зображення обов'язково повинні бути суміжними, що істотно зменшує кількість об'єктів, необхідних для ідентифікації, а об'єм отримуваних даних росте не пропорційно квадрату значення просторового розрізнення, а лінійно, пропорційно числу спектральних ділянок (при збільшенні числа спектральних ділянок і зменшенні значення просторового розрізнення об'єм отримуваних даних істотно знижується) [2].

Окрім цього, гіперспектральна зйомка є результатом еволюційного розвитку багатоспектральних систем, коли завдяки новим технологіям кількість спектральних ділянок збільшується з 3 – 7 до 200 – 1000 при високому спектральному розрізненні (від 0,1 до 10 нм).

При цьому наявність вузьких спектральних ділянок дозволяє створювати більш інформативні спектральні профілі для знятих об'єктів. Гіперспектральна зйомка не тільки збільшує кількість інформації про об'єкт зондування, але і забезпечує зовсім новий якісний характер даних. Це стало можливим завдяки новій технології створення зображень, де спектральна сигнатура пов'язана з кожним елементом просторового розрізнення (пікселем).

В результаті цього формується багатовимірне просторово-спектральне зображення, де кожна елементарна ділянка зображення ("піксел") характеризується власним спектром. Таке зображення називається "кубом" інформації, два вимірювання якого

відповідають просторовому зображенню місцевості на площині, а третє – частоті спектру прийнятого випромінювання (рис. 1).

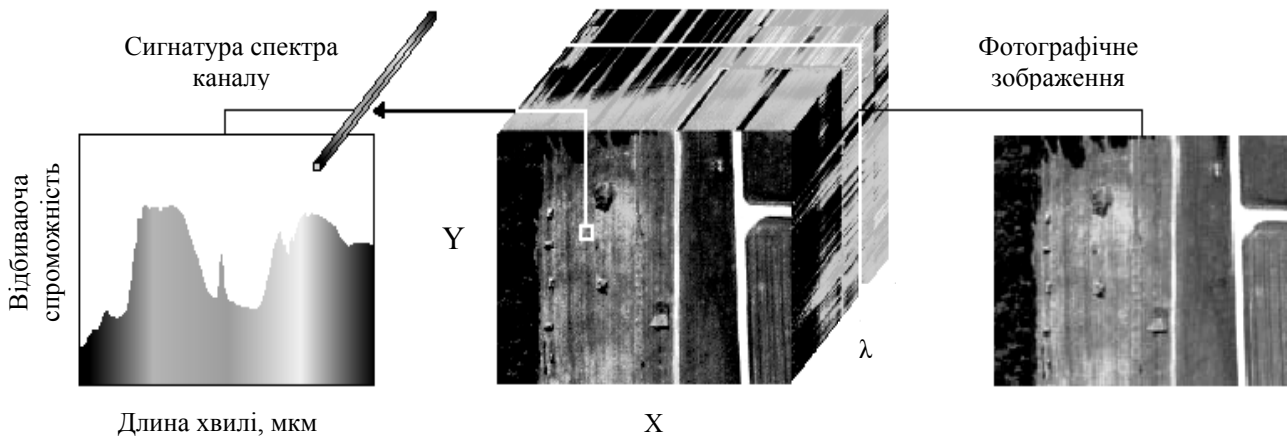


Рис. 1. Гіперспектральний куб зображення:
 x, y – просторові координати; λ – число спектральних каналів

Більшість систем дистанційного зондування реєструють відбите випромінювання. Якщо параметри випромінювання, що поступає на вхід спектрометричної камери, вимірюються на кожній довжині хвилі достатньо широкого спектрального діапазону, то отримана спектральна сигнатура може використовуватися для унікального опису і ідентифікації будь-якого заданого матеріалу, що складає об'єкт зйомки. Різні види поверхневих речовин і матеріалів можуть розпізнаватися і відділятися один від одного за розбіжностями у відносній відбитій здатності, якщо існує метод для вимірювання цих розбіжностей як функції довжини хвилі і інтенсивності відбитого випромінювання. Завдання спектрометрії (спектроскопії) полягають у виявленні (виявленні), вимірюванні, аналізі і інтерпретації спектральних сигнатур об'єктів і явищ [2, 3].

Значення, які записані у вигляді куба даних, можуть бути перетворені в радіометричні величини, які безпосередньо пов'язані з випромінювальною і відбивною характеристиками об'єкту. Висока ефективність використання гіперспектральної зйомки полягає в тому, що вона забезпечує зв'язок з просторовими і спектральними аналітичними моделями і бібліотеками спектральних еталонів. З'єднання спектрального і просторового аналізу дозволяє ідентифікувати на зображенні оптично нероздільні (субпіксельні) об'єкти завдяки тоншій класифікації за спектральною функцією пікселя.

Основна структура куба даних (центр) в гіперспектральному зображенні представляє одночасно просторові і спектральні характеристики даних. Куб даних може бути зображений як набір спектрів (зліва) кожної одиничної крапки або як набір зображень кожного одиничного спектрального каналу.

Окрім цього, при гіперспектральній зйомці існує можливість ідентифікації на зображеннях основних елементів підстилаючої поверхні (дерев, тра-

в'яного покриву, доріг (шляхів) і так далі) і об'єктів, їх структури, матеріалів і умов навколишнього середовища. Враховуючи, що спектри поглинання різних речовин і матеріалів унікальні, такий підхід дозволяє за фізико-хімічним складом об'єктів визначати клас, тип і навіть вигляд. При цьому, гіперспектральні зображення мають ряд особливостей:

- реєстрація тонких структур спектрального розподілу оптичних сигналів забезпечує підвищення оперативності і точності їх виявлення і аналізу об'єктів космічного спостереження;
- дуже великий об'єм інформації накладає обмеження на традиційні способи автоматизованої обробки і дешифровки;
- принципова непридатність оператора до сприйняття гіперспектрального зображення, що спонукає до розробки нових машинних методів і алгоритмів виявлення об'єктів;
- величезна вимірність гіперспектрального простору вимагає необхідної розробки спеціалізованих статистичних методів;
- інформаційна надмірність гіперспектральних зображень надає можливість субпіксельної дешифровки гіперспектральних цифрових космічних зображень.

Окрім аналізу сигнатур, їх класифікації і ідентифікації, необхідно вирішити комплекс завдань з реєстрації, запам'ятовуванню і каналізації великого об'єму інформації. Отже, найближчим часом необхідно вирішити проблемну суперечність, що полягає, з одного боку, в збільшенні об'єму зображення, отриманого з багатоспектрального оптико-електронного пристрою, а з іншого боку, це обмежений об'єм передаваної інформації в радіоканалі для передачі повідомлень в реальному масштабі часу.

Для вирішення вказаних проблемних суперечностей необхідно вирішити наступні основні завдання:

- провести аналіз принципів побудови, визначення тактико-технічних характеристик, а також умов функціонування оптико-електронної апаратури бортового спеціального комплексу космічних апаратів ДЗЗ ДН з метою визначення основних напрямів вдосконалення цільової апаратури;
- провести оцінку дії радіофізичних ефектів, що виникають в атмосфері Землі, на розповсюдження радіохвиль сантиметрового і міліметрового діапазонів і їх впливу на завадостійкості радіотехнічних систем і комплексів;
- розробити методи підвищення завадостійкості радіосистем прийому спеціальної інформації з космічних апаратів дистанційного зондування Землі в умовах частотно-селективних замирань, що виникають в атмосфері Землі;
- розробити принципи побудови оптико-електронних засобів бортового спеціального комплексу дистанційного зондування Землі для розширення спектральних характеристик;
- розробити методи первинної обробки, завадостійкого стиснення і відновлення даних в масштабі реального часу.

Висновки

Таким чином, на основі викладеного матеріалу можна зробити наступні висновки:

1. Необхідність створення і використання глобальних космічних систем ДЗЗ ДП, що дасть можливість істотно підвищити оперативність ухвалення рішення і понизити ефективність функціонування систем озброєння незаконних військових формувань.
2. Підвищення бойової готовності і боєздатності військ в умовах раптового застосування мобільних ракетних комплексів сприяють створенню сучасних систем, які могли б не тільки здійснити пошук і ідентифікацію, але і знищення на етапах пуску (польоту) ракет.
3. Це вимушує створення, впровадження і ефективне функціонування відеоспектральних систем, що дає можливість підвищити оперативність визначення об'єкту. Проте створення перспективних

систем на основі обробки гіперспектральних зображень потребує вирішення ряду основних завдань:

- створення бази даних сигнатур об'єктів;
- забезпечення могутніми апаратними засобами бортових і наземних комплексів;
- розробка нових математичних підходів і програмних комплексів ідентифікації об'єктів;
- розвиток методів стиснення і відновлення інформації, і створення нових методів завадостійкого стиснення інформації;
- прив'язка до місцевості гіперспектральних зображень;
- створення системи підготовки кадрів.

Список літератури

1. Толубко В.Б. Тенденції використання космічного простору у сучасних умовах при вирішенні військових завдань / В.Б. Толубко, С.В. Козелков // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ, 2008. – Вип. 3 (7). – С. 4-11.
2. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
3. Негода О.О. Зарубіжні системи дистанційного зондування Землі з космосу подвійного призначення. Історія створення, принципи дії, застосування і перспективи розвитку / О.О. Негода, В.Б. Толубко, С.П. Мосов, М.Ф. Пічугін. – К.: НАОУ, 2005. – 246 с.
4. Худов Г.В. Аналіз застосування космічних систем у Російсько-Грузинському конфлікті 2008 року / Г.В. Худов // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 3 (15). – С. 71-76.
5. Закон України «Про затвердження Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України на 2008-2012 роки» від 30.09.2008 р., № 306-VI.
6. Оптико-електронные системы экологического мониторинга природной среды / Под ред. В.Н. Рождествовина. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 528 с.

Надійшла до редколегії 31.08.2008

Рецензент: д-р техн наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

С.В. Козелков, Д.П. Пашков

Применение космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) возможно не только для решения задач социально-экономических, но и задач, связанных с повышением национальной безопасности и обороноспособности государства. На основе анализа бортового специального комплекса космических аппаратов в статье представлены перспективные направления использования космических систем наблюдения и проблемы создания космических систем ДЗЗ двойного назначения.

Ключевые слова: анализ, задание, космическая система дистанционного зондирования Земли, мониторинг.

PROSPECTS OF THE USE OF SYSTEMS OF SPACES OF REMOTE SENSING OF EARTH FOR DECISION OF TASKS OF MILITARY SETTING

S.V. Kozelkov, D.P. Pashkov

Application of the systems of spaces of the remote sensing of Earth possibly not only for the decision of tasks socio-economic but also tasks, related to the increase of national safety and defensive capacity of the state. On the basis of analysis of the side special complex of vehicles of spaces perspective directions of the use of the systems of spaces of supervision and problem of creation of the systems of spaces of earth remote sensing of the double setting are presented in the article.

Keywords: *analysis, task, space system of the remote sensing of Earth, monitoring.*