

УДК 629.783:[528.83:355.404]

І.А. Кухарський

Військова частина А0515

## ІНФОРМАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДІЮЧИХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ВИДОВОЇ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ РОЗВІДКИ

*Проведено аналіз складу діючих станом на 25 квітня 2013 року космічних апаратів видової оптико-електронної розвідки й дистанційного зондування Землі. Наведені узагальнені параметри діючих космічних апаратів оптико-електронного знімання поверхні Землі високого геометричного розрізнення та тенденції розвитку й досягнуті рівні інформаційних характеристик їх матеріалів космічного знімання.*

**Ключові слова:** космічний апарат, оптико-електронна розвідка, матеріали космічного знімання, інформаційні характеристики.

### Вступ

**Актуальність теми дослідження.** Технічні засоби видової космічної оптико-електронної розвідки (ОЕР) створюють зображення за змістовною інформацією електромагнітних полів оптичного (ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного) діапазонів хвиль. Космічні апарати (КА) оптико-електронного знімання поверхні Землі забезпечують краще (порівняно із радіолокаційним) просторове й спектральне розрізнення матеріалів космічного знімання, а значить й вищу їх інформаційну продуктивність. Розташування іконічних засобів на космічних апаратах (штучних супутниках Землі) суттєво утруднює їх вогневе враження та забезпечує глобальність, екстериторіальність, безперервність й оперативність видової космічної розвідки без порушення норм міжнародного права. Матеріали космічного знімання (МКЗ) використовуються для розвідувально-інформаційного і картографічного забезпечення органів управління збройних сил й інших структур та є однією із компонент космічної інформаційної складової. Космічна інформаційна складова багатократно підвищує ефективність інших систем. За думкою деяких експертів космічні інформаційні системи підвищують бойові можливості збройних сил в 1,5-2 рази й здатні здійснити революцію у сучасній військовій справі [1].

Інформаційні характеристики діючих космічних апаратів оптико-електронного знімання визначають їх потенційні можливості видавати певні об'єми іконічної інформації за одиницю часу (продуктивність) без врахування її якості та відповідності цільовому призначенню. Об'єм інформації матеріалів космічного знімання залежить від їх кількості та параметрів (режимів знімання, оглядовості, деталістості, числа спектральних каналів, радіометричного діапазону, ємності бортових накопичувачів інформації та швидкості передачі її на наземні засоби тощо). Для інформаційних потреб видової космічної розвідки використовуються МКЗ, що формуються методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) як космічних апаратів суто військового при-

значення, так й цивільних або комерційних космічних апаратів ДЗЗ. Зокрема Голова Національної розвідки США Д. Блер у жовтні 2009 року зазначив, що комерційні космічні системи ДЗЗ забезпечують до 50 % всього обсягу видової інформації, необхідної для геоінформаційного забезпечення місії військ Альянсу в Іраку та Афганістані [2].

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Питанням космічного видового інформаційного забезпечення різних сфер суспільної діяльності присвячено ряд наукових робіт. Так автор роботи [1] показав, що одним із основних напрямків підвищення ефективності воєнно-космічних засобів є збільшення їх інформаційної продуктивності. Автор статті [3] розглядає на системотехнічних засадах ієрархічну систему показників й критерій збалансованості розвитку космічного інформаційного забезпечення в умовах невизначеності відхилень й тенденцій дисбалансів цілей, структури та зовнішніх умов. У статті [4] аналізуються теоретичні основи й запропоновані практичні алгоритми для оцінки інформативності спектральних діапазонів ДЗЗ при вирішенні тематичних завдань. Автори статті [5] проаналізували стан й тенденції космічного розвідувального, топогеодезичного й навігаційного забезпечення діяльності військ та показали необхідність вирішення актуальної проблеми приймання, інтеграції й доставлення замовнику космічної інформації. Автори роботи [6] розглянули військово-політичні й техніко-економічні чинники та тенденції розвитку систем видової космічної розвідки та можливості їх використання для інформаційного забезпечення національних інтересів.

Досягнення мікроелектроніки й оптоелектроніки та інформаційних технологій в останні десятиліття, а також послаблення режимних обмежень розповсюдження МКЗ й комерціалізація ринку видових космічних даних спонукали стрімкий якісний розвиток методів й технічних космічних засобів оптико-електронного знімання поверхні Землі з високою просторовою, радіометричною та спектральною розрізненістю. Сучасна практика космічного інфор-

маційного забезпечення вирішення тематичних завдань потребує знання параметрів й тенденцій розвитку інформаційних характеристик матеріалів космічного оптико-електронного знімання діючих КА видової розвідки та ДЗЗ.

**Мета роботи** – аналіз й узагальнення кількісних показників інформаційних характеристик діючих космічних апаратів оптико-електронного знімання поверхні Землі та тенденцій їх розвитку у контексті розвідувально-інформаційного забезпечення національних інтересів.

## Викладення основного матеріалу

Космічні системи ОЕР здійснюють оптико-електронне знімання в інтересах інформаційного забезпечення вирішення наступних завдань воєнної безпеки: спостереження за повсякденною діяльністю збройних сил суміжних держав та за районами локальних, регіональних і глобальних воєнних конфліктів й інших кризових ситуацій; виявлення військових, промислових й інфраструктурних об'єктів, визначення їх координат та стану; видача цілевказівок (або даних щодо них) бойовим системам ураження; відстеження за випробуваннями нових зразків озброєння і воєнної техніки, контроль за виконанням договорів та угод щодо обмеження відповідних видів озброєнь; контроль результатів ракетно-бомбових вогневих ударів; контроль за впливом військової діяльності на навколишнє середовище; контроль за здійсненням заходів оперативного маскування власними збройними силами.

Інформаційна продуктивність космічної системи оптико-електронного знімання залежить від: параметрів орбіти носія (КА) знімальної апаратури; можливостей і маневреності (величини й швидкості) відхилення оптичної вісі знімальної апаратури від надиру; ширини смуги огляду; режиму знімання (синхронний, асинхронний, рядковий, кадровий); методу стереоскопічного знімання (на одному прольоті, на сусідніх витках траєкторії, однією або двома знімальними камерами); детальності, кількості спектральних каналів та радіометричного діапазону МКЗ; ємності бортових накопичувачів інформації; характеристик радіолінії передачі іконічних даних на наземний комплекс (швидкість передачі інформації, передача із накопиченням, передача у реальному часі, передача через супутник-ретранслятор, передача на одну або декілька наземних станцій приймання).

Одною із головних інформаційних характеристик космічного знімку є його детальність або так зване геометричне розрізнення. Геометричне розрізнення знімка – це фізична площа прямокутної (частіше квадратної) ділянки місцевості, яка відображається на знімку самою дрібною крапкою (пікселом). Величина геометричного розрізнення виражається у довжині сторін цього прямокутника [4]. Геометричне розрізнення є характеристикою просторовою, але

не ідентичне просторовій розрізненості на місцевості. “Просторова розрізненість (на місцевості) – характеристика зображення, створювана видовим технічним засобом ДЗЗ, яку визначає розмір найменшого компактного об'єкта або ширина видовженого об'єкта певного контрасту, якого можна визначити (розрізнити) на цьому зображенні з заданою ймовірністю” [ДСТУ 4220-2003].

Геометричне розрізнення (детальність) МКЗ є найбільш важливим параметром – воно визначально впливає на ймовірність розпізнавання об'єктів розвідки та залежить від характеристик оптичної системи знімальної апаратури, а його покращення потребує суттєвих витрат ресурсів. Теоретично детальність знімальної апаратури з ідеальним об'єктивом обмежується спотвореннями хвильового фронту оптичного випромінювання в атмосфері величиною дифракційної межі. Розмір пікселя матеріалів космічного знімання на поверхні Землі (геометричне розрізнення) потенційно обмежується діаметром  $D_z$  вхідної зінниці оптичної системи, та залежить від висоти польоту космічного апарата НКА й довжини електромагнітної хвилі  $\lambda$  оптичного діапазону, на якій здійснюється знімання. Мінімумально можливі (межові) лінійні розміри проекції пікселя зображення на поверхню Землі (геометричне розрізнення космічного знімку) визначаються за формулою [7]:

$$L_r = H_{КА} \cdot \lambda / 2 \cdot K_k \cdot D_z, \quad (1)$$

де  $D_z$  – діаметр вхідної зінниці об'єктива (головного дзеркала);  $\lambda$  – довжина хвилі, видимий діапазон  $\lambda = 0,38-0,76 \cdot 10^{-6}$  м;  $H_{КА}$  – висота орбіти КА видового спостереження,  $H_{КА} = 200-900 \cdot 10^3$  м;  $L_r$  – детальність космічного знімання (геометричне розрізнення), м;  $K_k$  – емпіричний коефіцієнт,  $K_k = 0,25 \dots 0,35$ .

При  $H_{КА} = 600$  км,  $\lambda = 0,6$  мкм,  $D_z = 1$  м й  $K_k = 0,3$  геометричне розрізнення  $L_r = 0,6$  м.

За 50 років практичного досвіду технологія знімання поверхні Землі із космосу пройшла етапи фотографічного знімання, телевізійного, оптико-механічного й дійшла до оптико-електронного. У останні десятиліття попит на МКЗ стрімко зростає, що зумовило зростання чисельності угруповання космічних апаратів спостереження. Так у 2006 році орбітальне угруповання діючих космічних апаратів оптико-електронного знімання (розвідувального, комерційного, господарського й наукового призначення) поверхні Землі складало 60 одиниць, а станом на 25 квітня 2013 року вже 96 одиниць: 30 КА видової оптико-електронної розвідки й 66 КА дистанційного зондування Землі. Тенденції зміни геометричного розрізнення космічних апаратів оптико-електронного знімання (розвідувального, комерційного, господарського й наукового призначення) у процесі їх створення й удосконалення показані на рис. 1. Найкраще геометричне розрізнення, близьке до межового значення, забезпечують космічні апарати видової оптико-електронної розвідки США серії “KH-11” [8 – 11].

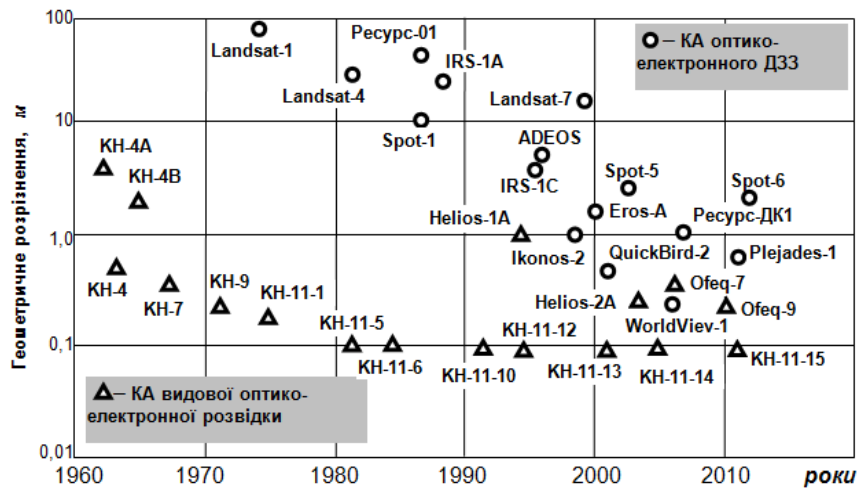


Рис. 1. Тенденції зміни геометричного розрізнення космічних апаратів оптико-електронного знімання

У 70-90-х роках минулого століття, з появою перших космічних апаратів ДЗЗ цивільного призначення (1976 рік), геометричне розрізнення їх МКЗ поступалося аналогічному параметру КА військового призначення в десятки разів. Однак вже у 1999 році компанія США Space Imaging вивела на орбіту перший комерційний КА ДЗЗ високої детальності “Ikonos-2”, який формує панхроматичне зображення з геометричним розрізненням 1 м, а мультиспектральне – 4 м. У 2001 році на орбіту виведений комерційний КА ДЗЗ високої детальності “QuickBird-2”, який формує панхроматичне зображення з геометричним розрізненням 0,61 м, а мультиспектральне – 2,44 м [10].

У 2007-2009 роках виведені на орбіту й нині функціонують комерційні КА ДЗЗ субметрової детальності “WorldView-1”, “GeoEye-1” й “WorldView-2”, які формують панхроматичне зображення з геометричним розрізненням 0,4-0,5 м. Тобто на початку XXI-го століття геометричне розрізнення комерційних КА ДЗЗ високої детальності наблизились до геометричного розрізнення космічних апаратів видової розвідки “Helios-1A, -2A, -2B”, “Ofeq-7, -9” тощо. Космічні апарати видової оптико-електронної розвідки США серії “KH-11” забезпечують (у перигей) геометричне розрізнення до 0,1 м завдяки великій оптиці (за деякими даними діаметр вхідної оптики сягає 2,4...3,1 м), низькому рівню шумів фотоприймачів та малій висоті (перигей орбіти корегується над районом знімання до висоти 200...350 км). Інші діючі КА оптико-електронного знімання високого геометричного розрізнення мають діаметр вхідної оптики 0,3-1,1 м, а висоти орбіт 340-1200 км [8, 10]. Створення об’єктива з великим діаметром вхідної оптики породжує не тільки масо-габаритні проблеми, а й технологічні, виробничі та експлуатаційні труднощі – необхідно витратити багато ресурсів на підтримання його температурного режиму, жорсткості конструкції тощо.

Маса космічного апарата суттєво впливає на його маневреність й вартість створення та виведення на орбіту. Аналіз свідчить, що маса КА ДЗЗ залежить, в

основному, від бажаного значення чотирьох параметрів: багатофункціональності, тобто можливості отримувати дані в різних діапазонах спектру, що обумовлює потребу декількох засобів ДЗЗ; просторової розрізненості на місцевості, яка визначає масу технічних засобів ДЗЗ; точності координатної прив’язки матеріалів космічного знімання без опорних точок, що потребує астронавігаційної й GPS апаратури тощо на борту КА; терміну експлуатації, який залежить від надійності апаратури та маси палива. Питома вартість виведення на орбіту супутників видової розвідки, спостереження та дистанційного зондування Землі (висоти до 1500 км) становить близько 5 тисяч доларів США на 1 кг маси супутника, причому протягом останніх 7-9 років вона залишається незмінною. Вартість виведення 1 кг маси на геостационарну орбіту висотою до 36 тис. км становила в 1990 році в середньому 40 тис. доларів, а в 2000 році вона знизилась до 26 тис. доларів [6].

На навколоземних орбітах функціонує 96 КА (у статті розглядається склад угруповання діючих КА станом на 25 квітня 2013 року [11]) оптико-електронного знімання поверхні Землі, які належать: Китай – 19 КА (з них 11 КА ОЕР й 8 КА ДЗЗ); США – 16 КА (5 КА ОЕР й 11 КА ДЗЗ); Індія – 9 КА (2 КА ОЕР й 7 КА ДЗЗ); Франція – 7 КА (3 КА ОЕР й 4 КА ДЗЗ); Ізраїль – 5 КА (3 КА ОЕР й 2 КА ДЗЗ); Японія – 4 КА ОЕР; Туреччина й Чилі – по 1 КА ОЕР; Німеччина – 6 КА ДЗЗ; Нігерія – 3 КА ДЗЗ; по 2 діючих КА ДЗЗ мають Алжир, Аргентина, Південна Корея, Росія й Саудівська Аравія; по 1 діючому оптико-електронному КА ДЗЗ мають Білорусь, Великобританія, Венесуела, Індонезія, Іран, Іспанія, Малайзія, Марокко, ОАЕ, Пакистан, ПАР, Сінгапур, Тайвань, Таїланд та ЄКА. Більше двох третин діючих космічних апаратів оптико-електронного спостереження забезпечують високе й надвисоке геометричне розрізнення матеріалів космічного знімання. Для розвідувальних й картографічних потреб збройних сил використовуються або можуть використовуватись матеріали космічного оптико-електронного знімання з геометричною деталістю краще 10-30 м, які добути

космічними апаратами військового, господарського або комерційного призначення.

Інформаційні характеристики МКЗ деяких діючих космічних апаратів оптико-електронного знімання поверхні Землі високого геометричного роз-

різнення наведені у табл. 1 [8-10, веб-сторінки [www.globalsecurity.org/space/](http://www.globalsecurity.org/space/), [www.magnolia.com.ru](http://www.magnolia.com.ru), [agentura.ru](http://agentura.ru), [www.sovzond.com](http://www.sovzond.com), [spacea.ru](http://spacea.ru), [www.neo-geography.ru](http://www.neo-geography.ru), [www.sinodefence.com](http://www.sinodefence.com), [space.skyrocket.de](http://space.skyrocket.de), [flowingdata.com](http://flowingdata.com) й [kosmo.cz](http://kosmo.cz)].

Таблиця 1

Інформаційні характеристики матеріалів оптико-електронного космічного знімання діючих КА

Космічний апарат (держава, рік запуску)	Радіометричне розрізн., біт	Смуга знімання, км	Продуктивність, тис. км <sup>2</sup> /добу	Детальність, м		Інформація кадра МКЗ/1км <sup>2</sup> , МБ	Пам'ять, Гб / передача, Мб/с
				PAN	MS (каналів)		
<b>Космічні апарати ОЕР</b>							
<b>Ofeq-5</b> (Ізраїль, 2002)	8	10,5	-	1,0*	-	110 / 1,0	32* / 280
<b>TES</b> (Індія, 2001)	12	16,0	-	1,0	-	384 / 1,5	64* / 70
<b>Cartosat-2A</b> (Індія, 2008)	8*	9,6	-	0,8	-	144 / 1,56	64 / 105
<b>Zi Yuan-2B, -2C</b> (JianBing-3) (Китай, 2002, 2004)	8*	30*	н/д	4*	15,0 (3к)	68,2 / 0,08	40 / 2×53
<b>КН-11-12, -13, -14, -15</b> (США, 1996, 2001, 2005, 2011)	12	5,1 (2,8)	≤324	0,3 (0,1)	0,7 (БІЧ) 2,7 (СІЧ)	10165 / 20	32 / 300
<b>MISTY-2</b> (США, 1999)	12	5,1 (2,8)	324	0,3 (0,1)	0,7 (БІЧ) 2,7 (СІЧ)	10165 / 20	32 / 300
<b>Helios-1A</b> (Франція, 1995)	8*	80	н/д	1,0	4 (3к)	8000 / 1,2	2×120 / 50
<b>Helios-2A</b> (Франція, 2004)	12*	50-70*	720*	0,5*	2,0* (3к)	26500/7,3	2×150/н/д
<b>Helios-2B</b> (Франція, 2009)	12*	50-70*	720*	0,5*	2,5* (ІЧ)	26500/7,3	2×150/н/д
<b>IGS-3A</b> (Японія, 2006)	н/д	10	н/д	1,0	4,0	н/д	н/д
<b>Космічні апарати ДЗЗ</b>							
<b>Ikonos-2</b> (США, 1999)	11	11	≤ 160*	1,0	4,0 (4к)	208 / 1,7	80 / 320
<b>QuickBird-2</b> (США, 2001)	11	16,5	≤ 300	0,61	2,44 (4к)	1257 / 4,6	128 / 320
<b>Landsat-7</b> (США, 1999)	8	185	н/д	15	30 (6к)	380,3 / 0,01	375 / 150
<b>Landsat-8</b> (США, 2013)	12	185	12580	15	30(8к)	684,5 / 0,02	3000/320
<b>WorldView-1</b> (США, 2007)	11	16,4	500	0,5	-	1479 / 5,5	2200 / 800
<b>GeoEye-1</b> (США, 2008)	11	15,2	700	0,41	1,64 (4к)	2362 / 10,2	1000 / 750
<b>WorldView-2</b> (США, 2009)	11	16,4	750	0,46	1,8 (8к)	2661 / 9,9	2200 / 800
<b>EROS-A</b> (Ізраїль, 2006)	11	12,5	60...100*	1,8	-	66,3 / 0,4	2 / 80
<b>EROS-B</b> (Ізраїль, 2006)	10*	7	н/д	0,7	-	125 / 2,5	32 / 280
<b>Ресурс-ДК 1</b> (Росія, 2006)	10	28,3	≤ 700*	1,0	2...3 (3к)	1482 / 1,85	768 / 256
<b>Канопус-В</b> (Росія, 2012)	10	20	500*	2,1	10,5 (4к)	141,5/0,35	64 / 2×123
<b>BelKA-2</b> (Білорусь, 2012)	10	20	500*	2,1	10,5 (4к)	141,5/0,35	64 / 2×123
<b>Kompsat-2</b> (Пд.Корея, 2006)	10	15	н/д	1,0	4,0 (4к)	351 / 1,6	64 / 320
<b>Kompsat-3</b> (Пд.Корея, 2012)	10*	16,8	н/д	0,7	2,8 (4к)	900 / 3,1	64*/320*
<b>Cartosat-2</b> (Індія, 2007)	10	9,6	н/д	0,8	-	180 / 1,9	64 / 105
<b>Cartosat-2B</b> (Індія, 2010)	10*	9,6	н/д	0,8	-	180 / 1,9	64* / 105
<b>Resourceat-2</b> (Індія, 2011)	10	70	н/д	5,8	23,5 (3к)	215 / 0,04	200 / 280*
<b>SPOT-5</b> (Франція, 2002)	8	60	3000*	2,5	10 (4к)	720 / 0,2	90 / 2×50
<b>Pleiades-1, -1B</b> (Франція, 2011, 2012)	12	20,0	1000*	0,7	2,8 (4к)	1531/3,8	600 / 450
<b>SPOT-6</b> (Франція, 2012)	12*	60	3000*	2,0	8,0 (4к)	1687/0,5	600* / 450*
<b>VRSS-1</b> (Венесуела, 2012)	10*	57	н/д	2,5	10(4к)	811,2/0,25	н/д
<b>RapidEye-1... -5</b> (ФРН, 2008)	12	78	1500*	-	6,5 (5к)	1080/0,17	48 / 80
<b>NigeriaSat-2</b> (Нігерія, 2011)	10*	20,0	160	2,5	5,0 (4к)	160 / 0,4	16 / 210
<b>DubaiSat-1</b> (ОАЕ, 2009)	10*	12,0	н/д	2,5	5,0 (4 к)	57,6 / 0,4	н/д / 30
<b>FormoSat-2</b> (Тайвань, 2004)	12	24	н/д	2,0	8,0 (4к)	270 / 0,5	32 / 120
<b>AlSat-2A</b> (Алжир, 2010)	10*	17	30	2,5	10,0 (4к)	72,2 / 0,25	64 / 70

Примітка: x\* – приблизне значення (експертна оцінка) відповідного параметра;  
н/д – нема даних щодо значення відповідного параметра.

Доступних повних даних щодо тактико-технічних характеристик апаратури оптико-електронного знімання значної частки космічних апаратів у відкритих джерелах не виявлено. Найбільш закрита інформація щодо розвідувальних оптико-електронних космічних апаратів Китаю серій “Zi Yuan” (“JianBing-3”) й “YaoGan” (“JianBing-6, -8”), Японії “IGS-3A, -5A, -6A, -8B” та Ізраїлю “Ofeq-7, -9”.

Найбільший об'єм інформації одного кадру цифрового зображення створюють оптико-електронні сканери: діючих КА ОЕР “КН-11” й “Misty-2” (~ 10 гігабайт (ГБ)), “Helios-2A, -2B” (~ 26 ГБ) та “Helios-1A” (~ 8 ГБ); діючих КА ДЗЗ “WorldView-2” (~ 2,6 ГБ), “GeoEye-1” (~ 2,4 ГБ), “WorldView-1” (~ 1,5 ГБ), “Ресурс-ДК 1” (~ 1,5 ГБ), “SPOT-6” (~ 1,7 ГБ), “Pleiades-1, -1B” (~ 1,5 ГБ), та “RapidEye-

1... -5" (~ 1,1 Гб). Більш коректне порівняння інформаційної продуктивності різних систем оптико-електронного знімання можливе за кількістю видової інформації, що містять матеріали космічного знімання одного квадратного кілометра знятої поверхні Землі – питома інформаційна ємність МКЗ. Найбільшу питому інформаційну ємність МКЗ створюють оптико-електронні сканери: діючих КА ОЕР “KH-11” й “Misty-2” (~ 20 МБ) та “Helios-2A, -2B” (~ 7,3 МБ); діючих КА ДЗЗ “GeoEye-1” (~ 10,2 МБ), “WorldView-2” (~ 9,9 МБ), “WorldView-1” (~ 5,5 МБ), “QuickBird-2” (~ 4,6 МБ), “Pleiades-1, -1B” (~ 3,8 МБ) та “EROS-B” (~ 2,5 МБ). Об’єми інформації кадру МКЗ й 1 км<sup>2</sup> знятої площі розраховані при роботі над статтею.

З метою підвищення частоти видової космічної розвідки (зменшення періоду повторного знімання району розвідки), що особливо важливо для відслідковування рухомих цілей, змін обстановки на театрі воєнних дій тощо, при створенні угруповання національних діючих космічних апаратів видового спостереження використовують спеціальну балістичну побудову.

У системі космічної видової ОЕР США використовуються пари КА “KH-11” на сонячно-синхронних орбітах. Площини їх рознесені на 48-50°, а різниця в часі пересікання екватора складає близько половини періоду обертання КА навколо Землі. Підсупутникова траєкторія одного КА розташовується посередині між сусідніми підсупутниковими траєкторіями іншого. Таке орбітальне розміщення супутників забезпечує послідовне перекриття смуг огляду двох КА, що гарантує повторний огляд будь-якого району земної поверхні протягом доби. Окремі райони (об’єкти) можуть відслідковуватись два рази на добу з різницею в часі біля 3 годин. Перший супутник здійснює знімання о 10-11 годині, другий о 13-14 годині за місцевим часом, що є найкращими умовами для ведення видової ОЕР – так як на знімках одного й того ж об’єкта, що зроблені двома супутниками, тінь знаходиться з різних його сторін, чим покращуються умови дешифрування зображень.

Нині у США використовуються космічні апарати видової ОЕР “KeyHole-11” третього покоління – “Improved Crystal”. Якщо КА “KH-11” (“Crystal”) другого покоління порівняно із КА “KH-11” першого покоління мав додатково широкоформатну камеру для оглядового знімання, то КА ОЕР “KH-11” третього покоління має ще й багатоспектральну знімальну апаратуру (у тому числі інфрачервону (ІЧ) камеру у діапазоні довжин хвиль 1,3-3,0 мкм для знімання вночі). КА “KH-11” третього покоління веде оглядову (безперервну) та детальну (покадрову) розвідку. При оглядовій розвідці здійснюється огляд заданого району, а при детальній – слідування за конкретним об’єктом в межах смуги огляду супутника. За одну добу КА може зняти 30 районів 90×120 км, або до 400 об’єктів. КА “Improved Crystal” оснащений двома реактивними двигунами для маневрування траєкторії та шістьма парами малих реак-

тивних двигунів орієнтації й стабілізації. Не виключена можливість використання сучасних космічних апаратів “KH-11” для контролю космосу й інспекції космічних об’єктів на орбіті. Видова розвідувальна інформація з космічних апаратів “KH-11” може передаватись безпосередньо на наземні станції або в реальному часі через супутники-ретранслятори типу “SDS” та “DSCS”. Орбітальне угруповання французької системи ОЕР Helios складається з КА “Helios-1A” та КА “Helios-2A” й “Helios-2B”. КА серії “Helios” призначені для ведення стратегічної й оперативної-тактичної видової розвідки та радіотехнічної розвідки. Завдання оглядової розвідки КА серії “Helios” виконує широкозахватна оптико-електронна система (ОЕС) середнього розрізнення HRG (аналогічна системі HRG на КА “SPOT-5”), а завдання детальної розвідки виконує двокамерна система надвисокого розрізнення THR (компанія Alcatel Space) із можливістю стереозйомки. Всі три ОЕС мають незалежні канали управління та дозволяють одночасно знімати три різні об’єкти або два об’єкти з формуванням стереопари по одному з них. Оптико-електронна система THR забезпечує знімання в середній частині ІЧ-діапазону, що підвищує інформативні властивості отримуваних зображень.

Особливістю балістичної побудови системи КА серії “Helios”: два оперативні КА серії “Helios” розміщуються в одній орбітальній площині з різницею часу перетину екватора, що дорівнює половині періоду обертання, чим досягається період повного огляду поверхні Землі близьким до 24 годин; застосування нестандартних післяобідніх сонячно-синхронних орбіт з перетином екватора у висхідному вузлі близько 13:30 за місцевим часом із використанням у ранковий час національних комерційних КА серії “SPOT-5, -6” та КА ДЗЗ подвійного призначення субметрового геометричного розрізнення “Pleiades-1, -1B”. Подібну орбітальну конфігурацію створюють фазовані на орбіті нові французькі супутники ДЗЗ “Pleiades-1”, “Pleiades-1B”, “SPOT-6” й “SPOT-7”, які забезпечать ще більш високу оперативність надання матеріалів космічного знімання з геометричним розрізненням 0,7-2,0 м та гарантований огляд будь-якого району земної поверхні протягом доби.

Космічні апарати видової оптико-електронної розвідки Ізраїлю “Ofeq-5, -7, -9” виведені на орбіти із зворотним нахиленням площини близько 141° й висотою 320-600 км. Зворотне нахилення орбіти зумовлене обмеженими можливостями запуску з території Ізраїлю так, щоб розгінні блоки ракетно-носія падали в Середиземне море, а не на територію сусідніх арабських держав. Така орбіта забезпечує можливість здійснювати знімання поверхні Землі в межах від 40° північної широти до 40° південної широти, яка включає території недружніх арабських сусідів Ізраїля. Особливістю орбітального угруповання ізраїльських космічних апаратів “EROS” полягає в тому, що робочі сонячно-синхронні орбіти

двох ізраїльських супутників підібрані таким чином, що “EROS-A” може вести зйомку уранці, а “EROS-B” вдень пополудні. В результаті підвищується вірогідність, частота, продуктивність та інформативність зйомки заданих районів [9]. Очевидно, що характеристики космічних апаратів видової оптико-електронної розвідки “Ofeq-5, -7, -9” не гірше характеристик КА ДЗЗ “EROS”.

Для підвищення енергії прийнятого елементарним інформаційним каналом оптичного випромінювання використовують оптичні системи з високим контрастом й відношенням сигнал/шум та спеціальні технології штучного збільшення часу експозиції: тангажне уповільнення КА (асинхронний режим знімання) – спеціальне слідкування оптичної вісі знімальної апаратури за об’єктом знімання або часову затримку й накопичення сигналу (Time-Delay Integration – TDI) на багатолінійкових приладах із зарядовим зв’язком (ПЗЗ). Асинхронний режим знімання потребує значних витрат енергії на слідкування оптичної вісі знімальної апаратури за наземним об’єктом знімання й призводить до зменшення продуктивності системи спостереження.

Більш ефективним способом підвищення часу експозиції (а значить й відношення сигнал/шум у елементарному інформаційному каналі, тобто контрастності зображення) є використання режиму часової затримки й накопичення (ЧЗН) інформаційного сигналу. Для реалізації режиму ЧЗН використовуються надсучасні фотоприймачі на основі багатолінійкових приладів із зарядовим зв’язком. Кількість кроків накопичення в окремому спектральному каналі визначається кількістю лінійок ПЗЗ та може досягати 128 й більше. При багатоспектральному зніманні застосовують кількість комплексів лінійок ПЗЗ за кількістю спектральних каналів й два варіанти режимів ЧЗН [13]:

1. Перший варіант багатоспектрального ЧЗН – у панхроматичному каналі використовують ЧЗН з кількістю кроків накопичення від 2 до 128 й більше, а в мультиспектральних каналах ЧЗН не використовують – збільшення енергії прийнятого оптичного сигналу в елементарному мульти-спектральному інформаційному каналі досягають за рахунок збільшення площі фотоприймача в 4-16 разів (при цьому геометричне розрізнення мультиспектральних каналів погіршується в 2-4 рази). Подібний варіант ЧЗН застосовується в КА ДЗЗ високого просторового розрізнення “Ikonos-2”, “QuickBird-2”, “Pleiades-1, -1B” тощо.

2. Другий варіант багатоспектрального ЧЗН – використання ЧЗН у панхроматичному й мультиспектральних каналах на відповідних лінійках ПЗЗ, причому кількість пікселів лінійок й кількість кроків накопичення мультиспектральних каналів в 2-4 рази менше ніж в панхроматичному каналі, а геометричне розрізнення у це ж число разів гірше. Подібний варіант часової затримки й накопичення застосовується в КА ДЗЗ високого просторового розрізнення “Ресурс-ДК1”, “Ресурс-П”, “Tacsat-2”, “GeoEye-1”,

“Kompsat-3”, “WorldView-1, -2” тощо.

Кількість пікселів у рядку МКЗ діючих космічних апаратів ДЗЗ високого просторового розрізнення становить від 4-х до 36-ти тисяч, причому в останні роки спостерігається тенденція їх чисельного збільшення до 40-50 тисяч. Розмір фоточутливого елемента (піксела) матриці ПЗЗ становить зазвичай 5-12 мкм, однак для деяких космічних апаратів з режимом ЧЗН (“Ikonos-2”, “QuickBird-2”, “GeoEye-1”, “Pleiades”, “Kompsat-3”) розмір піксела матриці ПЗЗ мультиспектральних каналів у 2-4 рази більше (18-52 мкм) ніж у панхроматичному каналі [13].

Похибки геоприв’язки матеріалів космічного оптико-електронного знімання високого просторового розрізнення без наземних опорних точок сучасних космічних апаратів ДЗЗ “GeoEye-1” й “WorldView-1, -2”, завдяки застосуванню зіркових датчиків орієнтації, досягають 4-9 м, що порівняно із аналогічними параметрами КА ОЕР “Helios” й “KH-11”. Похибки геоприв’язки матеріалів космічного оптико-електронного знімання без наземних опорних точок космічних апаратів “Ikonos-2”, “QuickBird-2”, “Landsat-8”, “Pleiades-1, -1B” й “SPOT-6” – 15-25 м, а КА “SPOT-6”, “EROS-B”, “Kompsat-2”, “Cartosat-2” й “RapidEye-1... -5” – 50-100 м. Чисельні дані зазначених похибок щодо інших КА не виявлені.

Аналіз загальних характеристик космічних апаратів оптико-електронного знімання поверхні Землі дає підстави зробити такі узагальнення й висновки [8-12]:

- більше 90 % діючих КА ДЗЗ оптико-електронного знімання рухаються на близьких до кругових полярних орбітах нахиленням 96-100° й висотою 450-900 км,

- орбіти переважної більшості КА ОЕР (крім КА Китаю “YaoGan-8” й “YaoGan-15”, КА Ізраїлю “Ofeq-5, -7, -9” та КА США “KH-11-12, -13, -14, -15”) сонячно-синхронні майже полярні, близькі до кругових, з висотою 400-700 км й нахиленням площини 97°-100°;

- надважкі (маса 17-19 тон) космічні апарати ОЕР США “KH-11-12, -13, -14, -15” та “Misty-2” багатofункціональні й мають достатній запас палива для підтримки параметрів еліптичної орбіти з націлінням перигею (висота 200-350 км) на район космічної розвідки, висота апогею 750-1200 км;

- космічні апарати ОЕР Ізраїлю “Ofeq-5, -7, -9” знаходяться на нахильних еліптичних орбітах (висота перигею 340-470 км, апогею – 550-800 км) й зворотним нахиленням площин орбіт близько 141° та мають масу близько 0,3 т й найкращі інформаційні характеристики за співвідношенням параметрів маса / геометрична детальність;

- середній термін активного функціонування КА ОЕР біля 5,4 років, а найбільший – мають французький КА “Helios-1A” (з 1995 року) та американський КА “KH-11-12” (з 1996 року);

– найбільший термін активного функціонування оптико-електронних космічних апаратів ДЗЗ мають американські КА “Landsat-7”, “Ikonos-2” й “Terра” (з 1999 року);

– період повторного оптико-електронного знімання наземних об’єктів більшістю сучасних космічних апаратів розвідки або спостереження 1-3 доби, а угрупованням із 2-4 КА з узгодженими параметрами траєкторій – декілька знімів на добу;

– найважчий космічний апарат ОЕР “Misty-2” (19,6 тон) багатофункціональний та створений за технологією “стелс”, що забезпечує низьку його оптичну й радіолокаційну помітність та малу ймовірність виявлення оптичними й / або радіолокаційними засобами контролю космічного простору;

– надважкі й важкі космічні апарати оптико-електронного знімання “КН-11-12, -13, -14 -15”, “Helios” й “Ресурс-ДК 1” багатофункціональні та забезпечують високу точність геоприв’язки МКЗ без наземних опорних точок;

– чисельність держав-власників космічних апаратів оптико-електронного знімання поверхні Землі постійно збільшується й складає 30, враховуючи Європейське космічне агентство (загалом діючі космічні апарати оптико-електронного знімання поверхні Землі у різний час мали близько 50 держав);

– співвідношення космічних апаратів оптико-електронного знімання поверхні Землі, які запускаються та знаходяться на орбіті, постійно змінюється у бік зменшення частки розвідувальних.

Слід зазначити, що видовій оптико-електронній космічній розвідці притаманні й недоліки – залежність можливості її здійснення від рівня освітленості району знімання та прозорості атмосфери над ним. Крім того видовій оптико-електронній, як і радіолокаційній, космічній розвідці притаманні загальні недоліки: відносно велика відстань між апаратурою знімання й об’єктом спостереження (сотні кілометрів), що обмежує величину відношення сигнал/шум та можливість отримання високої детальності матеріалів космічного знімання; жорстка просторово-часова програма польоту космічних апаратів ДЗЗ (носіїв знімальної апаратури), що, як правило, унеможливує маневр й тим самим обмежує оперативність та періодичність космічного знімання. Покращення інформаційних характеристик матеріалів космічного оптико-електронного знімання досягається за рахунок підвищення геометричного розрізнення, розширення динамічного діапазону й збільшення радіометричного розрізнення, розширення можливостей стереоскопічного знімання, розширення смуги охоплення й смуги огляду, збільшення кількості мультиспектральних каналів знімання, підвищення точності просторової прив’язки даних ДЗЗ без використання наземних опорних точок, удосконалення можливостей знімання великих площ на одному маршруті тощо [12 – 14].

## Висновки

1. Чисельність угруповання діючих космічних апаратів оптико-електронного знімання поверхні

Землі щорічно збільшується наближаючись до сотні, а їх інформаційна продуктивність зростає. Для потреб воєнної розвідки все ширше використовуються матеріали космічного знімання невійськових (комерційних й господарських) космічних апаратів, детальність та інші інформаційні характеристики яких наближаються до аналогічних характеристик космічних апаратів військового призначення.

2. Кращі інформаційні характеристики діючих космічних апаратів оптико-електронного знімання поверхні Землі військового й цивільного призначення високого просторового розрізнення є такими: проекція пікселя МКЗ на поверхню Землі – 0,1-0,5 м; радіометричне розрізнення кожного пікселя цифрових МКЗ – 10-12 біт; ширина смуги знімання високого геометричного розрізнення ( $\leq 5$  м) – 5-60 км; кількість пікселів у рядку досягає 36 тисяч; об’єм інформації одного кадру цифрового зображення досягає 10-26 ГБ; об’єм інформації МКЗ одного квадратного кілометра знятої поверхні Землі досягає 20 МБ; похибки геоприв’язки МКЗ без наземних опорних точок – 4-9 м; продуктивність знімальної системи (площа знятої поверхні Землі) за добу – 0,1-0,8 млн. км<sup>2</sup>; період повторного оптико-електронного знімання наземних об’єктів сучасними космічними апаратами розвідки або спостереження – 1-3 доби, а угрупованням із 2-4 КА з узгодженими параметрами траєкторій – декілька знімів на добу.

**Подальші напрямки досліджень** – створення бібліотек сигнатур параметрів відбивання оптичного випромінювання об’єктів розвідки й елементів ландшафту та оцінка й аналіз інформативності спектральних каналів засобів оптико-електронного знімання для різних тематичних завдань.

## Список літератури

1. Меньшиков В.А. Анализ, перспективы развития и повышения эффективности военно-космических средств / В.А. Меньшиков // [Электр. ресурс]. – Режим доступа: [http://www.cosmosinter.ru/art\\_potential/art\\_perspective/detail.php](http://www.cosmosinter.ru/art_potential/art_perspective/detail.php).
2. Попов М.А. Геопросторова розвідка в операціях збройних сил / М.А. Попов // Наука і оборона. – 2010. – №2. – С. 30-39.
3. Поповкин В.А. Показатели и критерии сбалансированности развития космического информационного обеспечения / В.А. Поповкин // Стратегическая стабильность. – 2004. – № 4. – С. 45-50.
4. Станкевич С.А. Информативность оптических диапазонов дистанционного наблюдения Земли из космоса: практические алгоритмы / С.А. Станкевич // Космічна наука і технологія. – 2008. – Т.14. – № 2. – С.22-27.
5. Данилюк А.Д. Обеспечение войсковых потребностей космической информацией – веление времени / А.Д. Данилюк, П.Б. Далабаев, А.Н. Жиганов // Стратегическая стабильность. – 2004. – №4(29). – С. 9-14.
6. Попов М.О. Возможности и перспективы космических систем видовой разведки та спостереження в контексті національних інтересів / М.О. Попов, Є.І. Махонін, В.І. Присяжний // Наука і оборона. – 2008. – №2. – С.41-52.
7. Технические средства видовой разведки / А.В. Варламов, Г.А. Кисиленко, А.А. Хорев, А.Н. Федоринов; под ред. А.А. Хорева. – М.: 1997. – 327 с.
8. Лимаренко В.В. Стан і тенденції розвитку ДЗЗ з космосу: аналітичний огляд (станом на 05.2010) [Електрон-

ний ресурс] / В.В. Лимаренко. – Режим доступа: <http://www.nkau.gov.ua/nsau/newsnsau.nsf/b75f3910e3e32500c>.

9. Гарбук С.В. Космические системы дистанционного зондирования Земли / С.В. Гарбук, В.Е. Гершензон. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 296 с.

10. Космическая съемка Земли. Космическая опто-электронная съемка поверхности Земли с высоким разрешением. Справочно-аналитическое издание №1 / Под ред. Ю.А. Подъездкова. – М.: Радиотехника, 2008. – 89 с.

11. Класифікатор діючих космічних апаратів (станом на 25.04.2013). – Житомир: в/ч А 0735, 2013. – 36 с.

12. Бакланов А.И. Анализ состояния и тенденции развития систем наблюдения высокого и сверхвысокого разрешения / А.И. Бакланов // Вестник Самарского госу-

дарственного аэрокосмического университета. – 2010. – № 2. – С. 80-91.

13. Бакланов А.И. Фотоприемники ПЗС космических систем наблюдения высокого разрешения / А.И. Бакланов // Вопросы радиоэлектроники: серия техника телевидения. – 2012. – Вып. 2. – С. 3-19.

14. Кучейко А. А. DGI 2012: развитие и конвергенция технологий геопрозрачной разведки / А.А. Кучейко // Земля из космоса. – 2012. – №12. – С. 94-97.

Надійшла до редколегії 2.05.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕЙСТВУЮЩИХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ВИДОВОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ РАЗВЕДКИ

И.А. Кухарский

Проведен анализ состава действующих состоянием на 25 апреля 2013 года космических аппаратов видовой оптико-электронной разведки и дистанционного зондирования Земли. Приведены обобщенные параметры действующих космических аппаратов оптико-электронной съемки поверхности Земли высокого геометрического разрешения, тенденции развития, достигнуты уровни информационных характеристик их материалов космической съемки.

**Ключевые слова:** космический аппарат, оптико-электронная разведка, материалы космической съемки, информационные характеристики.

## INFORMATIVE DESCRIPTIONS OF OPERATING SPACE VEHICLES OF SPECIFIC OPNICAL-ELECTRONIC SECRET SERVICE

I.A. Kuharsky

The analysis of composition is conducted operating by the state on April, 25, 2013 space vehicles of specific optical-electronic secret service and remote sensing of Earth. Showed the generalized parameters of operating space vehicles of optical-electronic survey of terrene of geometrical high-res, progress trends, the levels of informative descriptions of their materials of space survey are attained.

**Keywords:** space vehicle, optical-electronic secret service, materials of space survey, informative descriptions.