

УДК 528.8.04

А.О. Красноруцький

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## **АНАЛІЗ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ АЕРОКОСМІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЗЕМЛІ**

*Надано аналіз радіотехнічних систем і обґрунтовується напрям підвищення ролі методів стиснення зображень в засобах аерокосмічного моніторингу Землі.*

*радіотехнічні системи, аерокосмічний моніторинг Землі*

### **Вступ**

Для забезпечення підвищення об'єму національного валового продукту і зниження вірогідності нанесення економічного й екологічного збитку необхідно організувати загальнодержавні географічні інформаційні системи (ГІС). Це обумовлено тим, що такі системи дозволяють ефективно працювати з просторово-розподіленою інформацією (картами, планами, аерокосмічними зображеннями). Одним з основних напрямів розвитку геоінформаційних технологій є інтеграція систем збору, обробки, передачі, аналізу інформації і ухвалення рішень, необхідних для своєчасного запобігання, виявлення, локалізації й ліквідації кризових ситуацій і їх наслідків [1, 2].

Тому **мета статті** полягає в обґрунтуванні перспективного напрямку своєчасної доставки інформації моніторингу до споживача.

### **Дослідження засобів моніторингу Землі**

Засоби моніторингу здійснюють пошук, виявлення, ідентифікацію і вимірювання необхідних параметрів досліджуваних об'єктів. Робота ГІС моніторингу Землі звичайно включає наступні етапи: збір інформації про досліджувані об'єкти; обробка, сортування, запам'ятовування і зберігання інформації; передача інформації для проведення аналізу поточної обстановки; моделювання і виявлення взаємозв'язків між процесами; оцінка поточного стану досліджуваних об'єктів; прогнозування оцінки стану досліджуваних об'єктів; виконання спеціальної обробки даних за завданням користувача.

Найважливішою складовою ГІС є система збору і передачі інформації на основі аерокосмічного моніторингу Землі (рис. 1).

Аерокосмічний моніторинг Землі (АКМЗ) здійснюється на основі угруповання низькоорбітальних космічних апаратів (НО), безпілотних літальних апаратів (БПЛА), аеробусів і пілотованих літальних апаратів (ЛА).

Одне з основних призначень аерокосмічного моніторингу полягає у визначення джерел і ступеня небезпеки для підтримки ухвалення рішень у кризових ситуаціях, а також створення умов для появи і подальшого зростання попиту на послуги ГІС, а отже, і ринку на ці послуги.

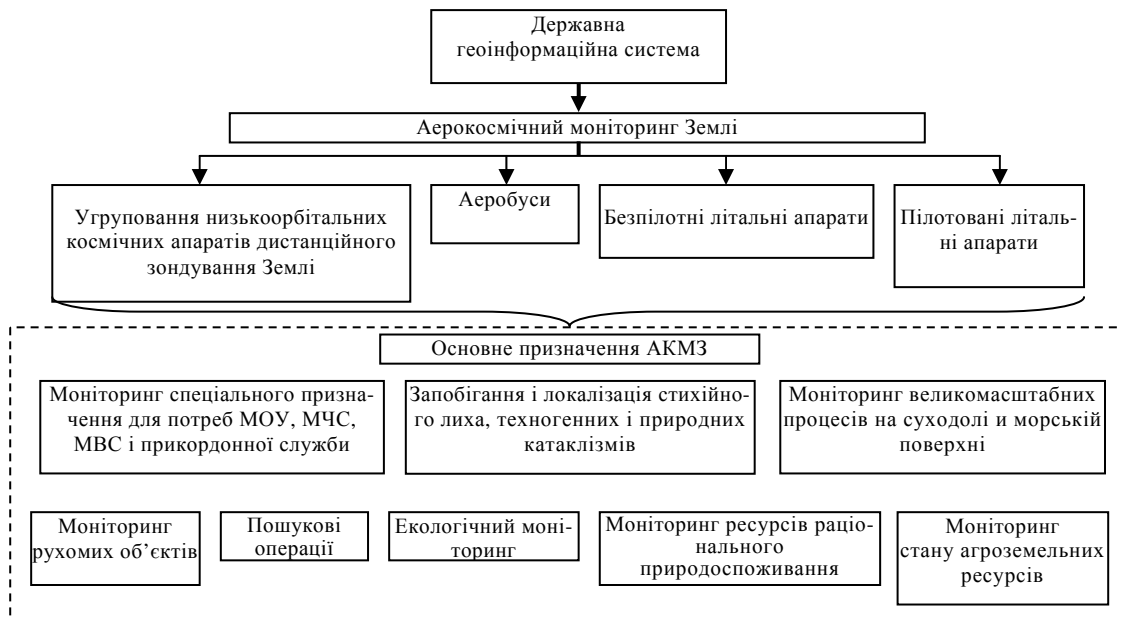


Рис. 1. Структурно-функціональна схема аерокосмічного моніторингу Землі

Для реалізації програми відеоспостереження "Січ" розробляються космічні апарати "Січ-3-О", "Січ-3-Р" і МС-2-8. На НО МС-2-8 встановлений оптико-електронний сканер з просторовим розділенням 8 м. Поява цього проекту обумовлена тим, що зараз на світовому ринку є стабільний попит на знімки з розділенням до 10 м, які необхідні для картографії, контролю стану агропромислових ресурсів і зон надзвичайних ситуацій. Відносно дешеві мікросупутники мають незаперечні переваги в конкурентній боротьбі з дорогими супут-

никами типу Spot з аналогічною апаратурою. Цей проект може бути привабливий для країн, що не мають своєї розвинутої космічної галузі. Проект "Січ-3-О" передбачає розробку КА на базі платформи середнього класу з установленням оптико-електронного пристрою високого розділення (телескопа), що забезпечує детальність при зйомці в надір краще 1 м.

Основні характеристики космічних апаратів "Січ-3-О" і Landsat-5 і ISPTI наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики КО

Космічний апарат	"Січ-3-О"	«Landsat-5»	«SPOT»
висота орбіти, км	667	705	822
нахил орбіти, град.	98,0	98,2	98,7
спектральні діапазони, мкм	0,4...0,6; 0,6...0,7; 0,7...0,9	0,5...0,6; 0,6...0,7; 0,7...0,8; 0,8...1,1	0,5...0,59; 0,61...0,69; 0,79...0,9; 0,51...0,73
розділення в надірі, м	0,9	82,0	20 (1...3); 10 (4)
ширина смуги огляду в надірі, км	10,4	185	950
швидкість передачі даних, Мбіт/с	61,44	15	
кількість фотоелементів в одній лінійці	5914	1200	14400
обсяг відеоданих з однієї лінійки за 1 сек, Мбіт	71,7	172,8	144
швидкість передачі даних, Мбіт/с	15,3	15	

На КО сімейства "Січ" для передачі інформації буде використаний широкий набір бортових передавальних пристроїв, що працюють на несучих частотах 137,4 МГц, 1,7 ГГц і 8,2 ГГц.

Основні напрями аерокосмічного моніторингу Землі на базі безпілотних апаратів, що літають, по-

лягають у: проведенні хімічної і радіаційної розвідки; здійсненні екологічного моніторингу; пошуку тих, що зазнають лиха; пошуку загублених об'єктів; доставці засобів порятунку і зв'язку; скиданні пізнавальних радіомаяків; патрулюванні режимних об'єктів; патрулюванні нафто- і газопроводів; патрулюванні транспортних магістралей; патрулюванні лісових масивів; ретрансляції сигналів зв'язку. Найбільш перспективною радіотехнічною системою, що встановлюється на БПЛА, є комплексована оптико-електронна система, що включає, крім цифрової апаратури фотографування, ЛАДАР і ЛІДАР. Комбінація цих трьох систем дозволяє достовірніше проводити розвідку місцевості у будь-який час доби.

ЛІДАР використовує лазерний датчик у розпізнаванні резонансних властивостей газу для ідентифікації об'єктів спостереження. ЛАДАР використовує лазерний датчик у скануванні поверхні спостереження і по віддзеркаленню дозволяє ідентифікувати об'єкти спостереження. Технічно системи відеоспостереження з БПЛА реалізуються у вигляді системи оптичних пристроїв, що розміщуються або безпосередньо в корпусі літального апарата (ЛА) і жорстко пов'язаних з його конструкцією, або за допомогою гіростабілізованих платформ, що забезпечують поворот оптичних осей пристроїв у будь-яку сторону із заданою швидкістю. Однією з важливих технічних характеристик, що впливають на ефективність використання цифрових оптичних систем і пристроїв у безпілотній техніці, є їх роздільна здат-

ність. Під роздільною здатністю цифрової оптичної системи слід розуміти здатність оптичної системи формувати на пристрої виведення (екран і т.п.) зображення предметів, що знаходяться на заданому віддаленні від об'єктива оптичної системи із заданим рівнем деталізації [1, 2, 4, 5]. Основним фактором, що визначає розділення оптико-електронної системи, є ПЗС-матриця, на яку після об'єктива проєктується одержуване зображення. У табл. 2 – 3 наведені характерні дані для цифрових радіотехнічних систем, вживаних в оптикоелектронних системах спостереження, розвідки і встановлюваних ЛА (у тому числі і БПЛА).

Розмірність ПЗС-матриці значно впливає на розділення оптичного пристрою (системи), оскільки розмірність ПЗС-матриці визначає рівень дискретизації зображення, що поступає з об'єктива. Чим вища розмірність матриці, тим вище рівень дискретизації і тим вище виходить деталізація зображення на екрані системи [3, 6]. Отже, щоб одержати дозвіл цифрової оптичної системи, близький до оптичного розділення об'єктива, треба або мати ПЗС-матрицю дуже великої розмірності або зменшувати кути поля зору. Оптичні системи, що мають ПЗС-матриці малої розмірності, мало придатні для вирішення завдань спостереження за земною поверхнею і детальної розвідки, оскільки формують ефект "замочної щілини".

Вимоги до розпізнавальної здатності знімків окремих об'єктів наведені в табл. 4.

Таблиця 2

Характерні дані для ПЗС-матриць, використаних в оптико-електронних системах відеоспостереження, встановлених на БПЛА

Платформа	Застосування	Матриця	Кути поля зору об'єктива
Wescam IISST Step-Stare	ТВ	640x512	28,7x21,7
Controp DSP-1	ТВ	256x256	21,7x20,6
Boeng SPIRT	ТВ	1134x486	6,5x6,5
STN Attras Electronic ISSOS	ТВ	576x768	29,0x38,0
Kentron Kenis	ИК	288x384	13,5x18,0
Versatoron SkyBall 14TS	ТВ	512x512	23x17
УОМЗ СОИ 112	ТВ	752x582	8,0x6,0

Таблиця 3

Характеристики цифрових систем повітряного спостереження

Фірма	Бортовий комплекс	Носій	Тип камери	Кількість елементів
EMI (США)	TARS	RF-16	CAI 260/25A	5120x5120
BAe (США)	KS-87 EO	RF-4, RF-5, RF-16	F-985	9420x9420
Goodrich (Англія)	RAPTOR	Tornado	DB-110	
Vinten (Англія)	Vicon 18	Jaguar, Harrier, Hawk	8010EO	4096
«Геосистема» (Україна)	DAC	Ан-30	3-DAC-1	14400

Таблиця 4

Вимоги до роздільної здатності знімків

Об'єкти	Розпізнавальна здатність, м				
	виявлення	розпізнавання типу	розпізнавання моделі	опис	технічний аналіз
Літаки	4,5	1,5	1,0	0,15	0,045

Продовження табл. 4

Об'єкти	Розпізнавальна здатність, м				
	виявлення	розпізнавання типу	розпізнавання моделі	опис	технічний аналіз
Наводні кораблі	7,00	4,5	0,6	0,3	0,045
Назем. трансп. засоби	1,5	0,6	0,3	0,06	0,045
Мости	6,0	4,5	1,5	1,0	0,3
Аеродроми	6,0	4,5	3,0	0,3	0,15

Таблиця 5

Характеристики обсягів відеоінформації, що формуються цифровими камерами на пілотованих літальних апаратах

Тип камери	Кількість елементів	Розрядність елементів, біт	Цифровий обсяг зображення, Мбіт
CAI 260/25	5120x5120	7	183,5
		24	629,2
F-985	9420x9420	8	709,9
		24	2129,7
8042EO	12288	8	0,1
		24	0,3
3-DAC-1	14400	5	0,07
		24	0,4

На основі аналізу табл. 1 – 5 можна оцінити об'єми відеоінформації, що формується радіотехнічними системами аерокосмічного моніторингу, і час їх передачі по каналах зв'язку (табл. 6 – 7).

Таблиця 6

Час передачі одного кадру зображення з борту літального апарата по каналу зв'язку

Швидкість передачі по каналу зв'язку	Обсяг відеоданих одного кадру, Мбіт					
	0,55	1,65	9,53	183,5	629,2	2129,7
256 Кбіт/с	2,2с	6,5с	37,2с	716,8с	2457,8с	8319,1с
16 Мбіт/с	0,03с	0,1с	0,6с	11,5с	39,3с	133,1с

Таблиця 7

Час передачі одного кадру зображення з борту низькоорбітального космічного апарата по каналу зв'язку

Швидкість передачі по каналу зв'язку	Обсяг відеоданих з однієї лінійки за 1 сек., Мбіт					
	47,8	71,7	96	115,2	144	172,8
665 Кбіт/с	72с	108с	144,4с	173,2с	216,5с	260с
15,3 Мбіт/с	3с	4,7с	6,3с	7,5с	9,4с	11,3с

Аналіз даних в табл. 6 – 7 показує, що:

1. Час передачі одного кадру зображення з борту БПЛА залежно від розмірності ПЗС-МАТРИЦІ, розрядності елементів і швидкості передачі даних по каналу зв'язку лежить у межах від 0,03 сек. до 32 сек. У режимі передачі зображень розміром 1134 x 486 елементів з частотою 25 кадрів у секунду час передачі відеоданих знаходиться в межах від декількох секунд до декількох хвилин. Із зростанням розмірності ПЗС-МАТРИЦІ до близько 2000 x 1000 елементів час передачі даних збільшиться додатково в середньому в 3 рази.

2. Час передачі відеоінформації з борту низькоорбітального НО залежно від кількості фотоелементів в одній лінійці і розрядності елементів змінюється 260 сек. Максимальний час передачі

досягається для систем знімання, що складаються з 14400 фотоелементів в одній лінійці.

3. Час передачі цифрового об'єму одного кадру зображення з борту пілотованого ЛА залежно від швидкості передачі даних по каналу зв'язку для розмірів кадрів (5120x5120 і 9420x9420 елементів), що найбільш цікавлять, досягає 2,5 години при швидкості передачі 256 кбіт/с і 3 хвилин при швидкості передачі 16 Мбіт/с.

Звідси впливає, що існує суперечність між необхідними об'ємами інформаційних потоків, які потрібно передавати з найменшою похибкою, і обмеженими технічними можливостями існуючих радіотехнічних систем аерокосмічного моніторингу Землі.

Один з основних напрямів вирішення даної суперечності полягає в зменшенні обсягів даних,

які передаються, це можна здійснити шляхом:

1. Скоротити кількість елементів, використовуваних для оцифрування зображень.

2. Зменшити надмірність цифрових зображень.

Перший напрям досягається в результаті зменшення розмірності ПЗС-МАТРИЦІ або кількості фотоелементів у лінійці в системі оптико-електронного знімання інформації. Проте це веде до збільшення часу сприйняття інформації оператором. Такі оптичні системи малоприменні для спостереження за земною поверхнею і детальної розвідки. Що недостатня вирішує здатність і чутливість реєструючої апаратури космічних засобів ускладнює екологічний моніторинг на основі низькоорбітальних космічних апаратів, що виявляється, наприклад, при виявленні лісових пожеж. Це обумовлено затіненістю лісових пожеж кронами дерев, хмарністю і димом. Отже, перший напрям зменшення обсягів даних, які передаються, є неефективним.

Навпаки, другий напрям скорочення обсягів відеоданих, які передаються, за рахунок їх компактного подання внаслідок скорочення надмірності зображень є найбільш ефективним.

### Висновки

1. Застосування нових радіотехнічних систем аерокосмічного моніторингу Землі, що створені за використанням сучасних технологій і мають високий рівень автоматизації, забезпечить вже найближчими роками якісно новий рівень вирішення задач з підвищення обсягу національного валово-

го продукту і зниження вірогідності нанесення економічного і екологічного збитку. У той же час одне з основних завдань, що вимагають свого рішення для підвищення ефективності управління, є підвищення оперативності доведення відеоданих.

2. Підвищення оперативності управління при існуючих каналах передачі інформації може бути досягнуто застосуванням методів стиснення зображень з можливістю їх відновлення із заданою втратою якості.

### Список літератури

1. Асташкин А.А. Космічні системи, апарати і прилади для вирішення завдань природокористування і екологічного контролю. – М.: ВІНІТІ, 1991. – 142 с.

2. Віноградов Б.А. Аерокосмічний моніторинг екосистем. – М.: Наука, 1984. – 319 с.

3. Гонсанс В.Р., Вудс Р. Цифрова обробка зображень. Пер. з англ. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.

4. Кутовій О.П. Тенденції розвитку беспілотних літальних апаратів // Наука і оборона. – 2000. – №4. – С. 39-47.

5. Матвеев С.І. Високоточні системи РВіА: перспективи і основні напрями робіт із створення розвідувально-ударних і розвідувально-вогняних комплексів. – М.: Військова думка. – 2005. – № 2. – С. 22-27.

6. Птачек М. Цифрове телебачення. Теорія і техніка: Пер. з чеського / Під ред. Л.С. Виленчика. – М.: Радіо і зв'язок, 1990. – 528 с.

Надійшла до редколегії 9.08.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Е.М. Хомяков, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського "ХАІ", Харків.