

УДК 629.78.018

С.Д. Ставицький

ДП Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, Київ

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПЕРІОДИЧНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗАДАНОГО РАЙОНУ СИСТЕМОЮ ДЗЗ

В роботі наводяться результати оцінки ефективності застосування перспективних вітчизняних систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в інтересах ЗС України по показнику періодичності спостереження заданого району.

**Ключові слова:** дистанційне зондування Землі, космічний апарат, спостереження.

### Вступ

Інтенсивне освоєння космічного простору та стрімкий розвиток космічної техніки відкривають широкі можливості розвитку напрямів підвищення обороноздатності держави. Космічні засоби дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) отримали наразі широке застосування у всьому світі. Постійно росте різноманітність типів космічних апаратів (КА) ДЗЗ та їх загальна кількість. Отримана ними космічна інформація використовується для рішення чисельних господарських і наукових задач моніторингу природного середовища, є не замінною при вирішенні завдань в інтересах національної безпеки та оборони [1].

При оцінці ефективності космічного сегмента системи ДЗЗ повинні враховуватися наступні основні вимоги до космічної інформації:

1. Спектральний діапазон апаратури спостереження має лежати в заданих кордонах.
2. Розрізнення спеціальної бортової апаратури має бути не гірше, ніж вимагається.
3. Періодичність спостереження будь-якої точки в заданому районі має бути не гірше, ніж вимагається.
4. Мають виконуватися задані обмеження проведення зйомки (кут місця Сонця точки спостереження, максимальна тривалість зйомки, час на переацілювання і т.п.).

Формально вірогідність виконання першої вимоги  $P_{\lambda}$  для  $i$ -ої задачі залежить тільки від комплектації бортової апаратури КА ДЗЗ. Тому для оцінки  $P_{\lambda}$  потрібна повна інформація про встановлену на борту апаратуру.

Аналогічно може бути визначена і вірогідність  $P_r$  виконання другої вимоги: для оцінки необхідні данні про апаратуру спостереження та висоту орбіти кожного космічного апарата. Також необхідно врахувати погіршення точностних характеристик бортової апаратури (БА) в разі повороту сканера (всього КА) на заданий кут в границях полоси обзору.

Періодичність спостереження різних точок заданого району є складною, неоднозначною функцією. Вона змінюється від точки до точки району спо-

стереження, від оберту до оберту орбіти супутника. Для того, щоб отримати будь-яку оцінку періодичності спостереження заданого району, потрібно отримати оцінки періодичності для множини точок району обслуговування. Тільки після цього можливо вчислити ту чи іншу характеристику для району, наприклад: максимальну періодичність, мінімальну періодичність, середню періодичність (математичне чекання) або вірогідність того, що періодичність буде не гірше, ніж задана.

Для обчислення вірогідності необхідної періодичності огляду  $P_t$  необхідні дані про орбітальну структуру космічного сегменту, характеристики апаратури спостереження (кутах огляду сканерів і можливості поворотів).

Вірогідність виконання зйомки з врахуванням обмежень  $P_0$  залежить від часу доби рішення цільової задачі, сезонності, характеристик районів спостереження, бортових алгоритмів і технології управління КА. З урахуванням сказаного, вірогідність вирішення задачі можна визначити таким чином:

$$P_t = P_{\lambda_i} \cdot P_{r_i} \cdot P_{t_i} \cdot P_{0_i} \quad (1)$$

Виконання третьої і четвертої вимоги при оцінці ефективності космічного сегмента системи ДЗЗ насамперед залежить від якості балістико-навігаційного забезпечення управління польотом КА.

**Метою даної статі** є проведення оцінки періодичності спостереження заданого району, а також оцінка впливу хмарності на періодичність спостереження.

### Основний матеріал

Для аналізу ефективності використання КС ДЗЗ в інтересах національної безпеки та оборони було розроблено імітаційну математичну модель та здійснено її програмну реалізацію. Вона базується на високоточній динамічній моделі руху космічних апаратів [2]. При розробці моделі було враховано наступні вимоги та можливості:

- використання для КА на кругових та еліптичних орбітах в діапазоні висот від 300 до 1500 км при будь-якому нахилі;

- можливість введення реальних початкових умов руху КА в Грінвічській рухливій системі координат (ГРСК) для діючих КА та моделювання кеплерових параметрів орбіти для перспективних КА;
- налаштування потрібної конфігурації математичної моделі руху КА (урахування збурень);
- встановлення характеристик бортової спеціальної апаратури та можливостей її поворотів для розширення полоси обзору;
- вибору існуючих та введення перспективних координат НСУ та НСПД;
- встановлення параметрів обмежень на зйомку (по куту місця Сонця, по максимальному часу зйомки, вірогідності хмарності);
- встановлення координат районів зйомки (без обмежень по всій поверхні земної кулі);
- встановлення технологічних часових параметрів функціонування НКУ та НІК для обчислення оперативності отримання знімків.

Для оцінювання ефективності КС ДЗЗ використано реальні початкові умови руху КА «Січ-2», задані в ГРСК. Дані щодо параметрів розрахунку, району спостереження та характеристик бортової апаратури наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Початкові умови руху КА «Січ-2»

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Інтервал розрахунку         | 20.08.2011 01:00:00 – 21.08.2012 01:00:00  |
| Район зйомки                | на території сусідньої держави (поблизу кордону України), центр якого має координати $V=47^{\circ},74$ ; $L=23^{\circ},51$ |
| Параметри БСП               | $H=700$ км, $W_3=48.8$ км $\Theta=30^{\circ}$  |
| Мінімальний кут місця Сонця | 15 град  |
| Хмарність                   | не враховується  |
| Параметри моделі            | 4 члени ряду геопотенціалу, стандартна атмосфера   |

Імітаційне моделювання проводилось тільки для використання багатозонального скануючого пристрою (БСП), так як сканер середнього інфрачервоного діапазону не відповідає вимогам спостереження у військових цілях по просторовому розрізненню, а може використовуватися сумісно з БСП для покращення спектральних характеристик [3].

Слід підкреслити, що для визначення показників періодичності розрахунки проводились на інтервал часу в один календарний рік. За цей час буде виявлено всі особливості параметрів землегляду з урахуванням ізомаршрутності траси польоту КА та параметрів освітленості підсупутникових точок (колювання зима-літо).

Будемо вважати, що у (1)  $P_{\lambda} = P_t = 1$ , тобто бортова спеціальна апаратура здатна забезпечити виконання задачі з точки зору виявлення спектральних та просторових характеристик об'єктів спостере-

ження. Також в моделі реалізовано виконання вимог на обмеження, тоді  $P_0 = 1$ . Таким чином, згідно (1) ефективність системи ДЗЗ для виконання завдань в інтересах оборони буде визначатися як

$$P = P_t = P(t < T_{зад}) \quad (2)$$

На рис. 1 показано вибірккову (статистичну) функцію розподілу періодичності обзору заданої території. Ця вибірккова функція розподілу є дискретною статистичною характеристикою показника ефективності (2). У заголовку графіку наведено назву КА, для якого проведено розрахунки, одиниці виміру часу, мінімальне, максимальне та середнє значення періодичності обзору, а також кількість можливих зйомок за термін моделювання (в даному випадку за календарний рік). На графіку по осі абсцис відкладено інтервал часу періодичності обзору району в годинах. По осі значень відкладено вірогідність того, що район буде знято за проміжок часу менший від значення аргументу. Так, наприклад, за даними функції розподілу (рис. 1) можна стверджувати, що періодичність огляду супутником «Січ-2» заданого району з вірогідністю 0.17 буде становити не більше 24 годин, з вірогідністю 0,8 не більше 50 годин, з вірогідністю 1 не більше 73 годин. На всіх наступних малюнках графіки вибірккової функції розподілу мають той самий сенс та ті ж позначення.

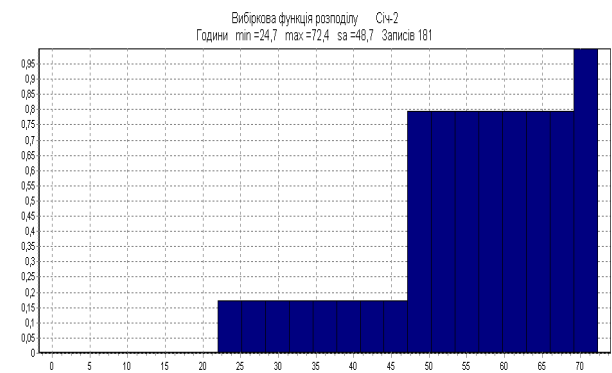


Рис. 1. Статистична функція розподілу періодичності обзору заданої території

Слід зазначити, що отримані інтервали носять яскраво виражений дискретний характер. Це пояснюється тим, що КА «Січ-2» має сонячно-синхронну орбіту та проходить в районі заданої точки зйомки щоденно приблизно в один і той же час, тому періоди огляду формуються у декілька вузьких інтервалів.

Розглянемо врахування у моделі хмарності. Архівно-статистичні дані для кожного району земної кулі дозволять з високою вірогідністю врахувати у моделі вплив хмарності на періодичність огляду території.

Додамо до вхідних даних табл. 1 наступні:

а) осінньо-зимовий період (з 1.10.2011 до 1.04.2012 р.) – хмарність 30%, результати моделювання наведені на рис. 2.

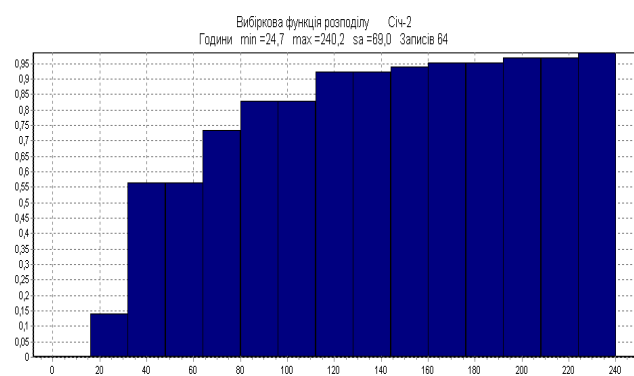


Рис. 2. Статистична функцію розподілу періодичності обзору заданої території в осінньо-зимовий період

б) весняно-літній період (з 1.04.2012 до 1.10.2012) – хмарність 10%, результати моделювання наведені на рис. 3.

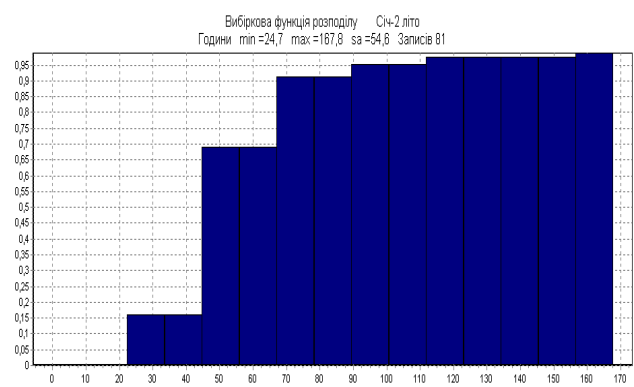


Рис. 3. Статистична функцію розподілу періодичності обзору заданої території в весняно-літній період

Для аналізу зведемо отримані результати в табл. 2.

Для КА «Січ-2» існує можливість проведення стереозйомки заданого об'єкта. Цей вид зйомки може бути корисним для отримання інформації про 3-мірні характеристики військових об'єктів. Для проведення стереозйомки КА повертається по куту тангажу вперед, проводить зйомку, потім швидко переорієнтується по тангажу в інший бік. Проте, у цьому режимі не може бути здійснено поворот КА поперек орбіти. Таким чином, зйомка проводиться тільки з використанням можливостей поля зору сканера. Проаналізуємо періодичність проведення стереозйомки при вхідних даних табл. 1, без врахування хмарності, прийнявши, що кут відхилення від надиру для зйомки дорівнює 0 градус. В результаті розрахунку виявлено (табл. 2), що за календарний рік можливо здійснити лише 13 стереозйомок заданого об'єкту. Така періодичність обзору може бути використана тільки при моніторингу довготривалого будівництва капітальних військових об'єктів та комунікацій поблизу території України.

В рамках виконання «Концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року» в Україні планується створення перспекти-

вних КА ДЗЗ [4] "Січ-3-О" та "Січ-3-Р". Ці КА плануються створюватись на базі платформ середнього класу із встановленням оптико - електронного телескопа високого розрізнення для КА "Січ-3-О" та радіолокатора високого розрізнення для КА "Січ-3-Р". Перспективні КА ДЗЗ створюються достатньо конкурентоздатними та являють собою реакцію космічної галузі України на потреби світового ринку.

Таблиця 2

Результати розрахунку

| КА             | Всього зйомок | Мін. час, годин | Макс час, годин | Сер. час, годин | Зйомка з вірогідністю, годин не більше |     |     |
|----------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|--|-----|-----|
|                |               |                 |                 |                 | 0.8                                    | 0.9 | 1.0 |
| «Січ-2»        | 181           | 24,7            | 72,4            | 48,7            | 50                                     | 73  | 73  |
| «Січ-2» зима   | 64            | 24,7            | 240,2           | 69,0            | 96                                     | 128 | 241 |
| «Січ-2» літо   | 81            | 24,7            | 167,8           | 54,6            | 78                                     | 78  | 168 |
| «Січ-2» стерео | 13            | 528<br>22 доби  | 1464<br>61 доба | 680<br>28 дб    | -                                      | -   | -   |

На борту супутника "Січ-3-О" планується до установки комплексу оптико-електронної апаратури, який дозволить вирішувати ряд практичних та наукових задач по моніторингу рослинних та ґрунтових покривів суші, а також задач в інтересах ЗСУ та інших силових структур. Загальні (розрахункові) характеристики КА та бортової спеціальної апаратури (БСА) наведено в табл. 3 згідно даним [5].

Таблиця 3

Загальні характеристики КА та БСА

| Багатозональний скануючий пристрій (БСП)          |         |                                 |
|---|---------|---------------------------------|
| Спектральні діапазони:                            |         |                                 |
| панхроматичний                                    | мкм     | 0,4...0,9                       |
| мультиспектральний                                | мкм     | 0,4...0,6; 0,6...0,7; 0,7...0,9 |
| проекція кроку пікселів у надирі                  | м       | 0,9 (панхроматичний діапазон)   |
| ширина полоси обзору у надирі                     | км      | 10,4                            |
| Параметри орбіти                                  |         |                                 |
| орбіта  |         | сонячно-синхронна               |
| висота орбіти, близької до кругової               | км      | 667                             |
| нахил   | град    | 98                              |
| Система орієнтації та стабілізації                |         |                                 |
| тип стабілізації                                  |         | тривісна активна                |
| точність орієнтації                               | кут.хв. | 1,6                             |
| кутова швидкість стабіл.                          | град/с  | 0,0001                          |
| максимальний кут відхилення від надиру для зйомки | град    | ±30                             |

Інформація із супутника радіолокаційного дистанційного зондування Землі високого розрізнення із синтезованою апертурою антени «Січ-3-Р» буде застосована при розробці крупно масштабних карт та планів місцевості, геоінформаційних систем і т.д. Враховуючи відсутність обмежень по освітленості території спостереження та хмарності, дані з КА

«Січ-3-Р» можуть бути використані для оперативно-го вирішення задач в інтересах ЗС України. Попередні характеристики КА «Січ -3-Р» наведено в табл. 4 згідно даним офіційного сайту ДКБ «Південне» [5].

Таблиця 4  
Попередні характеристики КА «Січ -3-Р»

| Радіолокатор із синтезованою апертурою антени (РСА) |         |                   |
|---|---------|-------------------|
| робоча довжина хвилі                                | см      | 3                 |
| розрізнення в полосі обзору                         | м       | 2x2               |
| ширина полоси обзору у надирі                       | км      | 400               |
| ширина полоси захвату                               | км      | 20                |
| синтез радіолокаційного зображ.                     |         | наземна обробка   |
| Параметри орбіти                                    |         |                   |
| орбіта  |         | сонячно-синхронна |
| висота орбіти, близької до круг.                    | км      | 626               |
| нахил   | град    | 98                |
| Система орієнтації та стабілізації                  |         |                   |
| тип стабілізації                                    |         | тривісна активна  |
| точність орієнтації                                 | кут.хв. | 15                |
| кутова швидкість стабілізації                       | град/с  | 0,001             |

Розглянемо сумісну роботу КА «Січ-2» та перспективних українських КА ДЗЗ «Січ-3-О» та «Січ-3-Р».

В якості початкових умов руху використано дані, отримані шляхом перерахунку із кеплерових елементів по даним табл. 3 та 4 на час та дату близькі до початкових умов руху КА «Січ-2», місцевий сонячний час висхідного вузла близький до аналогічного параметру КА «Січ-2». При цьому не ставиться вимога підтримання визначеного взаємного положення КА на орбіті. Слід підкреслити, що вибрані параметри орбіти, є гіпотетичними, в зв'язку з тим, що в офіційних джерелах поки що не публікуються детальні дані по КА «Січ-3-О» та «Січ-3-Р».

Проведемо імітаційне моделювання у рамках вхідних даних із табл. 1, за винятком того, що для КА «Січ -3-О» прийнято:  $H=667$  км,  $W_3=10.4$  км,  $\Theta=30^\circ$ ; для КА «Січ-3-Р»  $H=626$  км,  $W_3=20$  км,  $\Theta=35^\circ$ . Оскільки для КА радіолокаційного спостереження освітленість району зйомки не має значення, то вимоги по куту Сонця не виставляються.

Результати моделювання наведені у табл. 5.

## Висновки

1. Проведене імітаційне моделювання функціонування космічної системи ДЗЗ типу «Січ-2» дозволило провести оцінку періодичності спостереження заданого району.

2. Аналіз результатів показує, що обмеження зйомок із-за хмарності приводить до значного збіль-

Таблиця 5

## Результати моделювання

| КА                                | Всього зйомок | Мін. час, годин | Макс. час, годин | Сер. час, годин | Зйомка з вірогідністю, годин не більше |     |     |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-----------------|--|-----|-----|
|                                   |               |                 |                  |                 | 0.8                                    | 0.9 | 1.0 |
| «Січ-2»                           | 181           | 24,7            | 72,4             | 48,7            | 50                                     | 73  | 73  |
| «Січ-3-О»                         | 160           | 24,5            | 71,8             | 54,8            | 72                                     | 72  | 72  |
| «Січ-3-Р»                         | 372           | 10,9            | 95,4             | 23,6            | 15                                     | 92  | 96  |
| «Січ-2»<br>«Січ-3-О»              | 341           | 0,0             | 71,8             | 25,8            | 48                                     | 48  | 72  |
| «Січ-2»<br>«Січ-3-Р»              | 553           | 0,6             | 72,4             | 15,9            | 15                                     | 36  | 72  |
| «Січ-2»<br>«Січ-3-О»<br>«Січ-3-Р» | 713           | 0,0             | 71,8             | 12,3            | 15                                     | 26  | 72  |

шення часових інтервалів періодичності огляду КА (як граничних, так і середніх). Так, в осінньо-зимовий період, в умовах нашого моделювання, максимальний період між оглядом заданої території може складати до 10 діб. В реальних умовах цей показник може бути ще більшим.

3. Аналіз результатів сумісного спостереження заданого району КА «Січ-2» та перспективних КА «Січ-3-О» та «Січ-3-Р» показує, що збільшення кількості КА ДЗЗ в системі приводить до значного покращення цільової ефективності з точки зору періодичності огляду заданих районів. Найбільш значний приріст показників дає включення до системи КА, оснащеного РСА, оскільки він має можливість проведення зйомок в незалежності від хмарності та освітленості цілі.

## Список літератури

1. Тенденції розвитку форм та способів застосування космічних систем у війнах майбутнього / А.М. Явтушенко, С.Д. Ставицький, В.І. Богомья, О.М. Загорюлько // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2005. – Вип. 4 (44). – С. 174 – 177.
2. Охоцимский Д.Е. Основы механики космического полета / Д.Е. Охоцимский, Ю.Г. Сихарулидзе. – М.: Наука, 1990. – 320 с.
3. Космічна система «Січ-2»: завдання та напрями використання. – К.: ДКАУ, 2011. – 48 с.
4. Офіційний сайт Державного космічного агентства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: <http://www.nkau.gov.ua>.
5. Офіційний сайт ДКБ «Південне» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.yuzhnoye.com>.

Надійшла до редколегії 17.11.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПЕРИОДИЧНОСТИ НАБЛЮДЕНИЯ ЗАДАННОГО РАЙОНА СИСТЕМОЙ ДЗЗ

С.Д. Ставицький

В работе приводятся результаты оценки эффективности применения перспективных отечественных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в интересах ВС Украины по показателю периодичности наблюдения заданного района.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование Земли, космический аппарат, наблюдение.

---

**METHODOLOGIES FOR ESTIMATING FREQUENCY OF OBSERVATIONS GIVEN AREA THRU ERS SYSTEMS**

S.D. Stavitskiy

*The paper presents the results of evaluation of the effectiveness of promising domestic systems for remote sensing (ERS) in order in terms of the Ukrainian Armed Forces periodicity of observation a given area.*

**Keywords:** *Earth remote sensing, spacecraft, observation.*