

УДК 629.78

В.В. Мироненко

Військова частина А0515

## **МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТА ОПЕРАТИВНОСТІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ КОМПЛЕКСОМ «КОСМІЧНИЙ АПАРАТ – СУПУТНИК РЕТРАНСЛЯТОР – ПУНКТ УПРАВЛІННЯ»**

*Розглядається методика підвищення якості та оперативності оптико-електронного спостереження комплексу «космічний апарат – супутник ретранслятор – пункт управління» (КА-СР-ПУ), яка дозволяє зберегти використання однопунктної інфраструктури управління КА.*

*наземний комплекс управління космічними, космічний апарат спостереження, супутник-ретранслятор*

### **Постановка проблеми та аналіз літератури**

Національна (загальнодержавна) космічна програма України на 2003 – 2007 роки визначає основні цілі, завдання, пріоритети й шляхи реалізації космічної діяльності в Україні. Одним з основних завдань Програми є створення необхідних умов для забезпечення національної безпеки. Тому особлива роль у програмі відведена створенню оборонних космічних систем (космічних систем подвійного призначення) і, насамперед, питанням розробки, модернізації й експлуатації космічних систем дистанційного зондування Землі (спостереження) [1].

Розвиток космічної системи спостереження України забезпечується на основі [6]:

інтеграції з існуючою космічною системою дистанційного зондування Землі;

удосконалювання складових частин космічної системи спостереження, а саме наземного комплексу управління космічними апаратами спостереження (КАС).

Досвід збройних локальних конфліктів показує, що на даний час космічні засоби дозволяють одержувати дані з високою розрізняювальною здатністю (менше ніж 1 м), космічне спостереження повинно вестися безперервно, у будь-яких метеорологічних умовах.

У сучасних умовах значно зростають вимоги до вірогідності й оперативності переданої інформації, що призводить до різкого збільшення об'єму даних, переданих з КАС.

Управління КА спостереження на даному етапі здійснюється з використанням програмно-часового способу, траєкторні виміри проводяться наземними засобами, а програма управління задається наземним комплексом управління (НКУ) й реалізується бортовим комплексом управління як функція часу [5]. У цьому випадку всі операції управління на борту КА здійснюються по заздалегідь заданій часовій програмі, розрахованій на Землі, з використанням апріорних знань і прогнозування зовнішніх і внутрішніх умов, у яких буде перебувати КА в ході реалізації програми

управління. При цьому програма не залежить (на окремих ділянках або етапах польоту КА) від результату її виконання, а контур управління функціонуванням КА завжди залишається розімкнутим.

Крім того необхідно враховувати особливості побудови національної космічної системи спостереження, що використовує однопунктну технологію управління КАС яка дозволяє здійснювати інформаційний обмін з КА тільки 4, 5 разів на добу. При цьому тривалість зон радіовидимості КА становить від 6 до 12 хвилин, що не може забезпечити передачу всього об'єму даних спостереження, що накопичуються в процесі виконання часової програми управління.

Для збільшення кількості сеансів зв'язку на добу необхідно використовувати декілька спільно працюючих пункти прийому [4]. Оскільки космічний апарат може одночасно працювати тільки з одним пунктом, то один із двох пунктів прийому, зони зв'язку яких перекриваються, не буде задіяний. Отже, для їх ефективного використання пункти необхідно розташувати так, щоб зони зв'язку не перекривалися або мали мінімально можливе перекриття.

Максимально можливі оперативність скидання інформації й інформаційну продуктивність можна досягти, забезпечуючи можливість скидання інформації на кожному витку. Для цього необхідно розташувати пункти прийому по довготі так, щоб їхньої зони огляду перекривали довготний діапазон шириною близько 180 градусів. Чим північніше будуть розташовуватися пункти прийому, тим менша їхня кількість необхідна. При розташуванні пунктів прийому на екваторі необхідно не менш п'яти, при розташуванні на широті близько 50 градусів - досить трьох. У такій ситуації можна забезпечити від 12 до 14 сеансів зв'язку на добу на 15 витках КА.

Однак віддаленість від кордонів України, тяжкі кліматичні умови, необхідність в високопродуктивних системах передачі даних, роблять створення та експлуатацію таких пунктів для України дорогими та нерентабельними.

У цьому випадку найбільш перспективним є метод підвищення тривалості зон радіовидимості з використанням супутника-ретранслятора.

### Постановка задачі викладення матеріалів дослідження

У роботах [7, 8] розглянуто одержання оцінки впливу хмарності на якість даних спостереження, прийнятих наземними станціями. У даних роботах оцінюються наступні показники: частота повторюваності хмарності  $\eta$  балів у розглянутому районі розвідки ( $M_{\eta u}$ ); умовна ймовірність того, що при даній хмарності об'єкт не закритий хмарами  $\Delta p_{\eta}$ . Математичне очікування обсягу даних спостереження  $M_u[n^3]$  з урахуванням впливу хмарності визначається по формулі И.Д. Григор'єва [8]

$$M_u[n^3] = \sum_{u=1}^U n_u^3 \bar{p}_{\eta u}, \quad (1)$$

$$\text{де } \bar{p}_{\eta u} = \sum_{\eta=0}^{10} M_{\eta} \Delta p_{\eta} = \sum_{\eta=0}^{10} M_{\eta} (1 - 0,1\eta).$$

Чисельні значення  $M_{\eta u}$  виходять шляхом статистичного аналізу результатів вивчення метеообстановки в районах спостереження. Наприклад, показники  $M_{\eta u}$  можуть вибиратися з таблиць для річного, сезонного розподілу хмарності над територією Європи.

Однак у даній методикі не враховується динаміка зміни хмарності в районі спостереження на добовому інтервалі від часу зйомки об'єкта. Отже, неминучі помилки у відновленні даних хмарності тільки за статистичними даними.

Для характеристики районів, погано освітлених даними по хмарності, можна використовувати дані метеорологічних супутників. При даному методі існує можливість відновлення (прогнозування) даних хмарності в результаті узгодження за часом на добовому інтервалі від часу зйомки об'єкта спостереження, значень горі у вузлах координатної сітки з використанням динамічних даних супутникової метеорологічної інформації. Помилки таких даних рівнялися б помилкам прогнозу й по оцінках становили б не більше 2 – 3 дам.

Найбільш перспективним методом є метод, що реалізує безперервну схему аналізу-прогнозу [7]. Нехай по супутниковій метеорологічній інформації розрахований прогноз на деякий строк, у який надійшла чергова серія додаткових даних. Тоді виробляється чисельний аналіз знову отриманих і прогностичних даних. Нове поле використовується для подальшого прогнозу, надалі до надходження наступних додаткових даних. Послідовне заповнення й включення в аналіз такого роду даних дозволяє підвищити точність прогнозу.

Розглянемо теоретичні положення розробки комплексу оптико-електронного спостереження «КА-СП-ПУ» (рис.1).

Розроблена методика заснована на тім, що в умовах однопунктної технології управління КА спо-

стереження й програмно-часовому способі, використовується супутник-ретранслятор на геостационарній орбіті.

Створювана модель наземного комплексу управління покликана встановити алгоритмічну залежність вихідного ефекту системи, обумовленого цільовою функцією  $F(T)$  і її показниками якості  $\alpha$  від сукупності параметрів  $Y$

$$Y = Y(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4, \bar{A}_5, \bar{A}_6, \bar{A}_7, \bar{A}_8); \quad (2)$$

$$Y \in Z = \{F(T), \alpha \in G\}, \quad (3)$$

де  $\bar{A}_1$  – параметри орбітального комплексу;  $\bar{A}_2$  – параметри космічних апаратів спостереження;  $\bar{A}_3$  – параметри бортових систем космічних апаратів спостереження;  $\bar{A}_4$  – параметри об'єктної обстановки;  $\bar{A}_5$  – параметри освітленості;  $\bar{A}_6$  – параметри метеообстановки;  $\bar{A}_7$  – параметри наземних засобів управління;  $\bar{A}_8$  – параметри наземних засобів прийому даних спостереження.

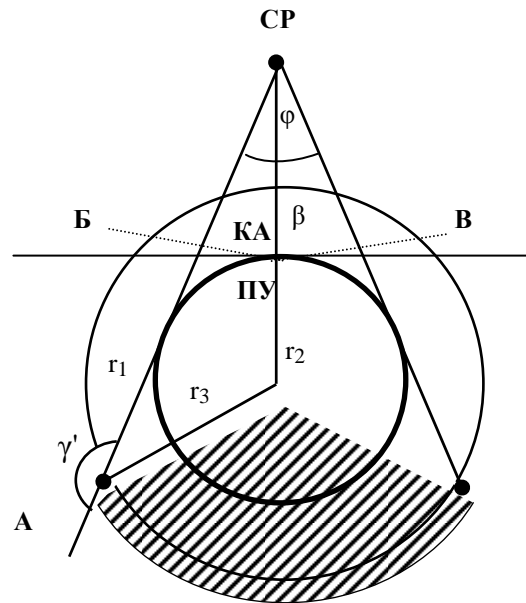


Рис. 1. Зони радіовидимості КА через супутник-ретранслятор: АГ – зона відсутності радіовидимості; АБ, ВГ – зона радіовидимості КА через СП; БВ – зона радіовидимості КА безпосередньо наземним РТС

Знаючи параметри  $A_8 = (V_{\text{ППИ}}, L_{\text{ППИ}}, \psi)$ , знаходимо кут  $\beta$ , що визначає умову влучення КА спостереження в зону радіовидимості наземного РТС, по формулі [2, 9]:

$$\beta = \arccos\left(\frac{R_3}{R_3 + H} \cos \psi\right) - \psi. \quad (4)$$

Знаючи координати КА ОЕС  $x, y, z$  і  $V_x, V_y, V_z$  на момент часу  $t$  знаходимо функцію похилої дальності  $D(t)$  до КА, функцію радіальної швидкості  $D(t)$  РККА, а так само  $\alpha(t), \gamma(t)$  – функції азимута й кута місця по відомих формулах [2, 9]:

$$D(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t) + z^2(t)}; \quad (5)$$

$$\dot{D}(t) = \frac{x(t)V_x(t) + y(t)V_y(t) + z(t)V_z(t)}{D(t)}; \quad (6)$$

$$\alpha(t) = \arctg \frac{z(t)}{x(t)}; \quad (7) \quad \gamma(t) = \arcsin \frac{y(t)}{D(t)}. \quad (8)$$

Знаходимо кут  $\varphi$ , що визначає умову влучення КА спостереження в зону радіовидимості супутника-ретранслятора (СР), по формулі [2, 3]:

$$\varphi = \arccos \frac{r_1^2 + r_2^2 - r_3^2}{2r_1 r_2}, \quad (9)$$

де  $r_1$  – відстань від СР до КА;  $r_2$  – відстань від СР до центра Землі;  $r_3$  – відстань від КА до центра Землі.

Якщо  $\varphi > \varphi_{зад}$  і  $r_1 < r_2$ , то є можливість інформаційного обміну ППП з КА через супутник-ретранслятор.

Для визначення тривалості перебування КА в зонах радіовидимості супутника-ретранслятора, припустимий кут місця прийомної антени супутника-ретранслятора приймаємо рівним  $17^\circ$ , нахилення КАС  $82,5^\circ$ , висоти орбіти КА  $H = 500$  км,  $H = 600$  км,  $H = 700$  км. За отриманими результатами імітаційного моделювання були побудовані емпіричні функції інтегрального  $F^*(\tau_c)$  закону розподілу випадкової величини тривалості зон радіовидимості  $\tau_c$ , для різних висот орбіт КА. Кожна група кривих надалі була апроксимована відповідною теоретичною функцією виду  $F(\tau_c)$  (рис. 2). Дані моделювання наведені в табл. 1. Тут же дані значення математичного очікування  $M[\tau_c]$  максимально можливої тривалості зони радіовидимості за часовий інтервал  $T$ .

Таблиця 1  
Дані моделювання тривалості зон радіо видимості

H, км	$F(\tau_c)$	$\tau_{c \max}$ , мін	$M[\tau_c]$ , мін
500	$0,034(\exp 0,072 \tau_c - 1)$	69,34	67,2
600	$0,029(\exp 0,0695 \tau_c - 1)$	65,87	63,4
700	$0,014(\exp 0,055 \tau_c - 1)$	61,87	59,4

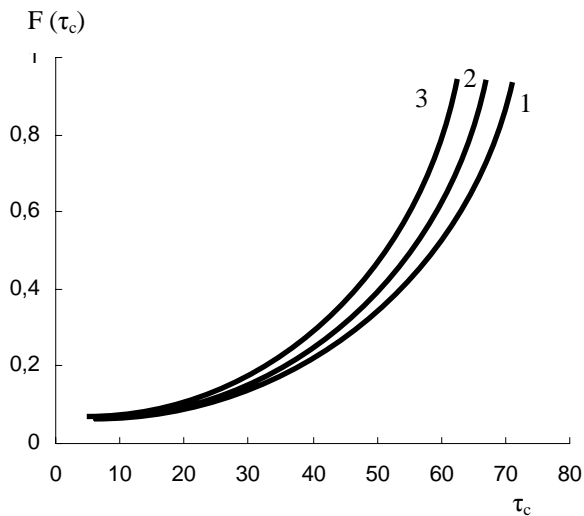


Рис. 2. Інтегральна функція тривалості зон радіовидимості КА супутником-ретранслятором: 1 – для КА з  $H = 500$  км; 2 – для КА з  $H = 600$  км; 3 – для КА з  $H = 700$  км

Розроблена методика зменшення витрат ресурсів БА, за рахунок корекції ЧПУ на етапі планування, дозволяє підвищити точність управління космічними апаратами оптико-електронного спостереження. Пристрій, що реалізує запропоновану методику, дозволяє автоматизувати оцінку впливу хмарності на якість даних спостереження при керуванні КА [7, 8]. Технічне рішення реалізоване на практиці як центральний модуль комплексної обробки цільових завдань, навігаційних параметрів та факторів впливу в структурній схемі потоків даних комплексу «КА-СР-ПУ» (рис. 3).

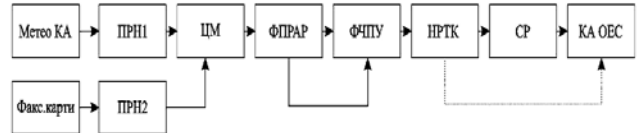


Рис.3. Структурна схема потоків даних комплексу «КА-СР-ПУ»:

КА ОЕС – космічний апарат оптико-електронного спостереження; СР – супутник ретранслятор; НРТК – наземний радіотехнічний комплекс; ФЧПУ – формувач часової програми управління; ФПРАР – формувач програми робіт бортової апаратури; ЦМ – центральний модуль комплексної обробки цільових завдань, навігаційних параметрів та факторів впливу; ПРН1 – приймач даних метеосупутника; ПРН2 – приймач факсимільних карт погоди

За результатами моделювання були отримані дані, що дозволяють зробити висновок про те, що в результаті проведення автоматизованої оцінки впливу хмарності ефективність оптико-електронної апаратури спостереження за критерієм продуктивності збільшується в середньому в 1,5 – 2,7 разів залежно від варіанта побудови й використання апаратури.

Таким чином для рішення функціональної залежності (2) у розроблювальній методиці відображено наступні процеси:

зміни навігаційних параметрів КА над заданими районами й об'єктами спостереження;

умова видимості КА наземним РТК і супутником-ретранслятором;

оцінку метеообстановки в районах спостереження;

функціонування роботи апаратури спостереження в процесах збору, нагромадження й передачі даних спостереження на ППП.

Вихідні дані задаються параметрами об'єктної обстановки  $\bar{A}_4$ , параметрами наземних засобів управління  $\bar{A}_7$ , параметрами наземних засобів прийому даних спостереження  $\bar{A}_8$ .

## Висновок

Таким чином розроблена методика підвищення якості та оперативності спостереження комплексом «КА-СР-ПУ», відрізняється від існуючих тим, що дозволяє в умовах однопунктної технології управління й програмно-часовому способі управління,

за рахунок активного використання супутника ретранслятора зменшити втрати ресурсів на виконання цільового спостереження яке на етапі обробки не дасть бажаних результатів, та дозволяє підвищити сумарну керованість КА ОЕС в умовах однопунктної технології управління.

### Список літератури

1. Національна космічна програма України на 2003 – 2007 роки (Закон України от 24.10.02 №203-IV).
2. Попович П.Р., Скребушевский Б.С. Баллистическое проектирование космических систем. – М.: Машиностроение, 1987. – 340 с.
3. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь: Пер. с. англ. – М.: Связь, 1989. – 592 с.
4. Присяжний В.І., Мироненко В.В. Аналіз основних принципів побудови наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами спостереження // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС. – 2007. – Вип. 2 (60). – С. 68-70..
5. Присяжний В.І., Мироненко В.В. Аналіз основних факторів, що впливають на якість функціонування наземного автоматизованого комплексу управління КА спостереження // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС. – 2007. – Вип. 5 (63). – С. 104-107.
6. Мироненко В.В., Присяжний В.І. Оцінка якості функціонування наземного автоматизованого комплексу управління в сучасних умовах // Системи озброєння і військової техніки. – Х.: ХУ ПС. – 2007. – Вип. 3 (11). – С. 37-41.
7. Мироненко В.В., Мироненко В.М., Загорулько О.М. Автоматизированная система управления космическими аппаратами на базе нечеткой логики // Збірник наукових праць. – К.: ЦНДІтаУ. – 2007. – № 3. – С. 27-31.
8. Мироненко В.В. Розробка методики зменшення втрат слів часової програми управління космічними апаратами оптико-електронної спостереження, за рахунок впровадження прогнозування відсутності або наявності хмарного покриття та його характеристик // Вісник воєнної розвідки. – К.: ОІВР. – 2007. – С. 51-55.
9. Мамон В.А., Половников В.И., Слезинский С.К. Баллистическое обеспечение космических полетов. – Л.: ВИКИ им. А.Ф. Можайского, 1990. – 236 с.

Надійшла до редколегії 15.05.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, старший науковий співробітник Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.