

Богом'я В.І.

## ВИЗНАЧЕННЯ КРИТЕРІЇВ ТА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ КОСМІНИХ АПАРАТІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЛІ

Однією з головних задач комплексних досліджень космічної системи спостереження Землі є визначення критеріїв та показників ефективності функціонування космічних апаратів дистанційного зондування Землі з урахуванням виконання завдань в інтересах екологічного моніторингу, отримання кількісних характеристик для наукового обґрунтування вимог, оцінки ефективності системи і якості функціонування її окремих ланок [1–5].

Усю сукупність показників, яка складає критеріальний базис оцінки якості системи, можна умовно об'єднати в дві крупні групи.

До першої з них відносяться показники узагальненої інформативності, цільові характеристики системи, такі як продуктивність, оперативність збору і доведення відеоінформації до галузевих споживачів, періодичність оновлення даних спостереження [4,5].

Друга група включає експлуатаційно-технічні і техніко-економічні показники, що дозволяють оцінювати надійнісні, точнісні, ресурсні, вартісні, енергетичні і інші властивості системи.

Розглянемо структуру і кількісні, аналітичні і алгоритмічні співвідношення для сукупності узагальнених і часткових показників ефективності космічної системи спостереження Землі.

Враховуючи, що методологія системних досліджень відноситься до широкого класу інформаційних комплексів крупного масштабу, група показників інформативності космічної системи повинна бути здатної дати більш повну і багатобічну оцінку її інформаційних властивостей. З позиції цих вимог у якості критеріальної основи оцінки подібних властивостей системи можуть виступати такі цільові показники як: вірогідність своєчасного отримання інформації заданого об'єму і якості; інформаційна продуктивність (інтегральна, динамічна, абсолютна і відносна) і баланс інформативності; оперативність доставки інформації, що виражає сумарні часові витрати, норму оперативності і динамічну функцію часового дефіциту; періодичність спостереження (спостереження), що відображає балістичну і ефективну регулярність оновлення інформації і кратність зйомки наземних сюжетів [1].

Як еквівалент, що сумарно враховує інформативні властивості системи, може бути прийнята вірогідність  $P(N_s > N^*_s)$  отримання космічною системою за час  $T$  заданого об'єму інформації спостереження, де  $N_s$ ,  $N^*_s$  відповідно кількість об'єктів спостереження, що необхідна і фактично спостерігається.

Інший узагальнений показник — інформаційна продуктивність системи - характеризує пропускну спроможність космічної системи спостереження за певний період її функціонування. Залежно від тривалості досліджуваного періоду слід розрізняти інтегральну і динамічну продуктивності.

**Інтегральна продуктивність** комплексу спостереження, її орбітальної або наземної підсистем характеризує їх сумарну продуктивність за достатньо великий відрізок часу  $(0, t)$  - рік, сезон, місяць, доба, частина доби або група витків.

Показник динамічної продуктивності служить для кількісної оцінки інформаційних можливостей системи в даний момент або на порівняно невеликому відрізку часу – за виток польоту супутника або за час прольоту ним певної зони території, регіону.

Продуктивність системи і її складових компонентів може виражатися також в абсолютних  $[N(0,t)]$  або відносних ( $\beta$ ) величинах.

**Абсолютна продуктивність  $N$ .** Цей частковий показник взаємозв'язаний з узагальненим показником інформативності, є його компонентом і відображає можливості космічної системи по "обхвату" спостереженням районів за відрізок часу  $(0,t)$  при певній наземній ситуації в районах, що вивчаються.

Показник  $N(0,t)$  є абсолютним значенням числа природних об'єктів, які можуть спостерігатися (експонуватися) системою з урахуванням обмежень по освітленості і хмарності та інш.

Для визначення інтегральної або динамічної продуктивності системи або, наприклад, орбітальної підсистеми, може бути використаний вираз

$$M[N] = \frac{1}{N_p} \sum_{n=1}^{N_p} \sum_{u=1}^V [n^e \sum_{\eta=1}^{10} M_{\eta u} (1-0,1\eta)]_{nu},$$

де  $n^e$  – число експонованих кадрів (зйомок) в районі спостереження природних ресурсів;

$M_{\eta}$  – частота повторюваності хмарності  $\eta$  балів.

При моделюванні бортових засобів радіолокаційного огляду у цьому виразі повинен бути виключеним останній множувач -

$$\sum_{\eta=1}^{10} M_{\eta u} (1-0,1\eta).$$

**Відносна продуктивність  $\beta$**  характеризує значення частки, яку складає число об'єктів (або кадрів), які експонуються системою за деякий період функціонування від їх загального числа  $N$ . Цей показник може бути представлений у вигляді

$$\beta = \frac{M[N]}{N} = \frac{1}{NN_p} \sum_{n=1}^{N_p} N_n(0,t).$$

**Баланс інформативності** може служити самою узагальнюючою характеристикою інформаційних можливостей космічної системи спостереження. Розрахунки по цьому показнику і побудовані на їх основі епюри балансу інформативності, дозволяють провести всебічний багатофакторний аналіз якості функціонування космічної системи і її ланок. При цьому досягається кількісна оцінка загального резерву інформативності системи за рахунок скорочення виявлених втрат і вибору найраціональніших характеристик процесу. У результаті дослідних або проектувальних робіт одержуємо конкретні дані для розробки аргументованих рекомендацій по техніко-організаційним заходам при модернізації зразків бортових і наземних засобів і космічної системи у цілому [2].

Умову інформаційного балансу можна виразити залежністю

$$N(0,t) = \sum_{i=1}^{N_B} N_{Li} - \sum_{j=1}^J \Delta N_j,$$

де  $N(0,t)$  – об'єм відеоінформації (кадрів, об'єктів), отриманий і виданий системою споживачам за інтервал часу  $[0,t]$ ;

$N_B$  – число витків КА, що забезпечує суцільне перекриття смугами спостереження регіонів;

$N_{Li}$  – число експонованих кадрів (об'єктів) в  $i$ -й смузі огляду супутника;

$\Delta N_j$  – об'єм інформації, що втрачається в результаті впливу  $j$ -го фактору, наприклад,

хмарності, недостатньої освітленості, обмежень по кількості і швидкості переорієнтації супутника по крену, а також їх сукупної дії.

Завершуючи розгляд питань інформаційної продуктивності, слід зазначити, що для більш детальної оцінки інформаційних можливостей системи і її підсистем можуть використовуватися часткові показники. До основних з них можна віднести наступні.

**Вірогідність збору і доставки на систему наземних пунктів всього об'єму відеоінформації**, накопиченої на борту супутника протягом часу  $T$  визначається за допомогою формули

$$P_{II}(T_K) = (\alpha_1 + \alpha_2) P_{Hi} k_{\Gamma},$$

де  $T_K$  – час передачі "еквівалентного (узагальненого) кадру";

$\alpha_1, \alpha_2$  – коефіцієнти розподілу  $f(T_K)$ , які залежать від умов функціонування і параметрів системи;

$P_{Hi}$  – вірогідність безвітказної роботи  $i$ -типу відеозасобів;

$k_{\Gamma}$  – коефіцієнт готовності наземних засобів прийому.

**Відносний об'єм накопиченої на борту інформації** при обмеженій місткості  $\sigma$  накопичувача визначається за допомогою формули [3]

$$\beta(\sigma) = \frac{\sum_{n^e=0}^{\sigma} n^e K_{n^e} + \sigma \sum_{n^e=\sigma+1}^{N_e} K_{n^e}}{\sum_{n^e=0}^{N_e} K_{n^e}},$$

де  $n^e = \overline{0, 1, N_e}$  – число кадрів, експонованих на витку;

$K_{n^e}$  – число витків, на яких отримано  $n^e$  кадрів.

**Потенційна продуктивність бортових відеозасобів** за умов освітленості – відносна частка  $\beta_d$  доступних для спостереження об'єктів визначається за допомогою формули

$$\beta_d = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^v N_c(\tau_{\sigma}, \alpha, t_{cm}, z_i, e, \Omega),$$

де  $N_c$  – число доступних для зйомки об'єктів, що знаходяться у зоні експонування (освітленої плями на земній поверхні) на протязі часу функціонування системи з урахуванням схилу Сонця  $\alpha$  в різні сезони  $z_i$  (зима, літо і тд.);

$e$  – чутливість бортової цільової апаратури;

$\Omega$  – прецесія орбіти космічного апарату;

$t_{cm}$  – час старту штучного супутника Землі.

**Продуктивність операторів** групи обробки відеоінформації на борту пілотованого космічного апарату або наземному пункті прийому, визначається через кількість обробленої інформації і сумарну величину трудових витрат

$$P_N = \frac{M[N_{об}]}{T}.$$

Тут середні трудові витрати  $T$  можуть бути вираженими в різних одиницях:  $T_{обр}$  – витрачений час на обробку інформації;  $N_d$  – число задіяних операторів; людино-години тощо.

**Оперативність системи.** Для оцінки "швидкодії" космічної системи при отриманні відеоінформації або оперативності проведення ряду технологічних операцій може притягуватися сукупність показників, кількісно характеризуючих сумарні часові витрати на рішення задачі і час застарівання інформації.

За основний показник оперативності системи може бути прийнято математичне очікування сумарних часових витрат на спостереження конкретного об'єкта [4]

$$M[T_{\Sigma}] = T_{cp} + \sum_{i=1}^{N_B} (T_D + \tau_B + \tau_{обз} + \tau_C + \tau_{обр}),$$

де  $T_{cp}$  – сумарний час на розробку і видачу на борт супутника програми роботи відеозасобів;

$N_B$  – число потрібних витків (проходжень КА системи) для обстеження об'єктів у протяжному районі;

$T_D$  – інтервал між моментом зйомки останнього об'єкту в смузі огляду і моментом передачі на землю інформації (час доставки);

$\tau_{обз}$  – тривалість огляду району, яка відповідає часу прольоту супутника між першим і останнім експонованим об'єктом в смузі огляду;

$\tau_B$  – час виходу КА до району, що вивчається;

$\tau_C$  – тривалість сеансу зв'язку "космос - Земля";

$\tau_{обр}$  – тривалість наземної обробки і видачі інформації галузевим споживачам за виток або групу витків.

Якщо через  $T_{дон}$  позначити допустимий час затримки інформації, то як один з показників оперативності може бути вибрана норма оперативності, що виражається співвідношенням

$$\left(1 - \frac{T_{дон}}{M[T_{\Sigma}]}\right) \geq 0.$$

Для характеристики застарівання інформації можна використовувати вірогідність

$$P_3 = P(T_3 \leq T_{дон})$$

того, що час затримки  $T_3 = M[T_{\Sigma}]$  відеоінформації, отриманої в районі, що спостерігається, не перевершить заданого або допустимого значення.

Останній показник оперативності пов'язаний з якістю обслуговування є динамічна функція дефіциту часу обслуговування на борту орбітальної станції або наземному пункті прийому інформації і визначається за допомогою формули

$$F(\Delta t) = T - \sum_{n^e=1}^{N_e} (\tau_{обс}) n^e.$$

Таким чином, запропоновані в статті критерії та показники ефективності функціонування космічної системи спостереження дають змогу продуктивно вирішувати завдання створення або модернізації (застосування) окремих комплексів космічної спостереження в Україні. Окремі проблемні питання залишилися не розглянутими і будуть потребувати подальшого дослідження. Однак, наведені критерії та показники дають підґрунтя для практичного використання у поєднанні з іншими методами та прийомами оцінювання ефективності функціонування космічної системи спостереження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
2. Ребрин Ю.К., Станкевич С.А., Мосов С.П. Методы количественной оценки эффективности средств аэрокосмической разведки / Под ред. Ю.К. Ребрин. – К.: КИ ВВС, 1997. – С.4-7.
3. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М., 1997. – 296 с.
4. Богомья В.И., Загоруйко А.Н., Малевинский С.В., Мироненко В.Н. Концепція створення регіональної системи прийому, одержання й обробки інформації ДЗЗ // Космічна наука і технологія. – 2002. – Т.8. – №1. – С.80.
5. GeoLITE – развитие космических технологий в интересах разведки // Новости космонавтики – 2001. – №7(222). – С.25.

---

6. <http://www.orbimage.com>.

7. <http://www.spot.com>.

УДК 629.78

Загорулько О.М, Меланченко О.Г.

## КОНЦЕПЦІЯ АВТОНОМНОГО УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ КОСМІЧНОГО АПАРАТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЛІ

*Запропоновано узагальнену концепцію архітектури автономного управління польотом автоматичного космічного апарата спостереження Землі (АКАСЗ). Перелічені основні властивості, які має запропонована концепція. Проведено декомпозицію системи, приведено опис основних компонентів системи автономного управління. Запропоновано підхід до забезпечення необхідної швидкодії при вирішенні задач автономного планування.*

*Ключові слова: автоматичний космічний апарат спостереження Землі, Центр управління польотами космічних апаратів, автономне управління.*

**1. Вступ.** Основним мотивом підвищення автономності управління польотом автоматичного космічного апарата спостереження Землі (АКАСЗ) є намагання ослабити необхідність постійного втручання операторів Центра управління польотом (ЦУП) в цей процес. Наприклад, в рамках діючої технології управління підготовка маневру підтримки орбіти АКАСЗ, яка включає прийняття рішення на його проведення, розрахунок параметрів маневру та формування відповідної програми управління, здійснюється на Землі. Якщо перенести рішення цих задач на борт АКАСЗ, то, окрім зниження завантаження ЦУП, це дозволить суттєво підвищити точність підтримки заданої орбіти за рахунок планування та здійснення більш частіших та більш коротких маневрів [1]. Особливу актуальність цей мотив здобуває у випадку АКАСЗ, що експлуатуються у складі кластеру, який забезпечує інтерферометричні спостереження об'єктів на поверхні Землі, коли потрібно високоточне скоординоване керування взаємним положенням та орієнтацією АКАСЗ в кластері. Точна підтримка параметрів номінальної орбіти АКАСЗ дозволить ЦУП планувати польотні операції, не звертаючись до прогнозу змінення орбіти АКАСЗ, виключаючи похибки прогнозування та підвищуючи тим самим точність планування. Оснащення АКАСЗ засобами виявлення, локалізації й парирования відмов дасть можливість не тільки підвищити надійність виконання задач місії, але й суттєво скоротити обсяг телеметричної інформації, що передається на Землю, та знизити трудомісткість її обробки та аналізу.

Ще одним важливим мотивом підвищення автономності є підвищення ефективності цільового застосування АКАСЗ, включаючи підвищення якості цільової інформації (ЦІ), зниження накладних витрат, підвищення оперативності виконання заявок користувачів ЦІ. Більшу частину часу польоту АКАСЗ знаходиться поза зоною видимості засобів наземного сегменту космічної системи (КС). Якщо б АКАСЗ був спроможним автономно виявляти об'єкти спостереження на поверхні Землі, він зміг би автономно перерозподіляти власні ресурси таким чином, щоб оперативно виконувати зйомку виявлених об'єктів, навіть якщо він знаходиться поза сеансом зв'язку з Землею [2]. Далі, якщо б АКАСЗ був спроможним автономно оцінювати потужність хмарного покриття над районами запланованої зйомки, це дозволило б виконувати спостереження тільки тих районів на поверхні Землі, які не закриті хмарами, і виключити витрачання ресурсів на проведення марних зйомок хмар [3]. Зрештою, реалізація можливості попереднього оцінювання якості ЦІ на борту АКАСЗ дозволила б виключити збереження й передачу на Землю неякісної ЦІ, та заощадити цінні ресурси бортової масової пам'яті й часу передачі ЦІ на Землю.