

Володимир Іванович Богом'я

КОМПЛЕКС ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Однією з головних задач комплексних досліджень системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів 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 здатною 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].

Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

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 (β) 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 ін.

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_{η} — частота повторюваності хмарності η 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 β 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 узагальною 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;

ΔN_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 $T_{ц}$ визначається за допомогою формули

$$P_{ц}(T_{к}) = (\alpha_1 + \alpha_2) P_{нi} k_{г},$$

де $T_{к}$ – час передачі "еквівалентного (узагальненого) кадру";

α_1, α_2 – коефіцієнти розподілу $f(T_{к})$, які залежать від умов функціонування і параметрів системи;

$P_{нi}$ – вірогідність безвідмовної роботи i – типу відеозасобів;

$k_{г}$ – коефіцієнт готовності наземних засобів прийому.

Відносний об'єм накопиченої на борту інформації при обмеженій місткості σ 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 $\beta_{д}$ доступних для спостереження об'єктів визначається за допомогою формули

$$\beta_{д} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^V N_{C}(\tau_{\sigma}, \alpha, t_{ст}, z_i, e, \Omega),$$

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 α в різні сезони z_i (зима, літо та ін.);

e – чутливість бортової цільової апаратури;

Ω – прецесія орбіти космічного апарату;

$t_{ст}$ – 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 виражені в різних одиницях: $T_{обр}$ – витрачений час на обробку інформації; $N_{д}$ – число задіяних операторів; людино-годинах тощо.

Оперативність системи. Для оцінки "швидкодії" космічної системи при отриманні відеоінформації або оперативності проведення ряду технологічних операцій може притягуватися сукупність показників, кількісно характеризуючи 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]

$$M[T_{\Sigma}] = T_{cp} + \sum_{i=1}^{N_B} (T_{д} + \tau_{в} + \tau_{обз} + \tau_{с} + \tau_{обр}),$$

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;

$T_{д}$ – 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;

$\tau_{в}$ – час виходу КА до району, що вивчається;

$\tau_{с}$ – тривалість сеансу зв'язку "космос - Земля";

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

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

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

Для характеристики застарівання інформації можна використовувати вірогідність

$$P_3 = P(T_3 \leq T_{доп})$$

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

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

Умовою відсутності дефіциту часу є $F(\Delta t) \geq 0$. При аналізі оперативності бортових засобів спостереження, як перший додатак цієї формули приймається час доставки інформації на наземні пункти прийому ($T = T_D$). Коли ж оцінюється оперативність обробки відеоінформації на Землі то $T = T_O$ період обігу супутника, а замість параметра n^e вибирається $n^П$ – число прийнятих з космосу кадрів (об'єктів).

Друга складова цієї ж функції може виступати як самостійний частковий показник, іменованій оперативністю обслуговування або обробки відеоінформації, отриманої на витку. Виходячи з технології проходження інформації, його можна виразити сумою непересічної множини складових

$$T_{обс} = \sum_{n^e=1}^{N_B} (\tau_{обр} + \tau_{оч} + \tau_{тр} + \tau_p) n^e,$$

де $\tau_{оч}$ – загальний час очікування кадру в черзі;

$\tau_{тр}$ – час міжфазового транспортування знімка або носія інформації;

τ_p – час, що затрачений на відшукування і усунення відмов або інших причин, що обумовлюють простої обладнання [3,5].

Періодичність обстеження природних об'єктів. Регулярність оновлення інформації по деяких районах можна оцінювати величиною часового інтервалу, необхідного для чергового накопичення даних про задане число і тип об'єктів спостереження.

У якості вимірників цієї властивості космічної системи можуть виступати балістична і ефективна періодичності спостереження об'єктів.

Балістична періодичність $T^б$ традиційно оцінює технологічні можливості системи, обумовлені тільки структурою супутникового угруповання і її балістичними характеристиками

$$T^б = f(N_{КА}, N_{ПЛ}, \omega_{пл}, N_{ТП}, i, \bar{X}_4),$$

де $\bar{X}_4 \equiv G$ – параметри наземної ситуації (обстановки) в районах, що спостерігаються.

Ефективна періодичність $T^{еф}$ більш повно і комплексно відображає регулярність оновлення інформації в реальних умовах роботи системи і враховує головні "позасистемні" фактори зовнішнього середовища - освітленість земної поверхні E і метеоумови M_η в спостережуваних районах, тобто

$$T^{еф} = T^б \varphi(E, M_\eta)_u.$$

Література

1. Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли / Ф.Р. Ханцеверов, В.В. Остроухов – 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. Ребрина. – К.: КИ ВВС, 1997. – С.4-7. 3. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли.

В статье предоставлен комплекс показателей эффективности функционирования системы наблюдения и распознавания космических аппаратов.

Ключевые слова: показатели эффективности, система наблюдения и распознавания, космический аппарат.

Співмножник $\varphi(E, M_\eta)_u$ цього виразу може виступати у якості міри локального вимірювання ефективної кратності поглядання об'єктів в u – м районі, що використовується як складова частина іншого часткового показника $N_{ПС}$ – числа повторних зйомок об'єкту, потрібного для досягнення заданої вірогідності P_H^* (надійності) його фіксації. При функціонуванні космічної системи у літній період (квітень-вересень місяці) для розрахунку показника $N_{ПС}$ можна застосувати відому формулу множення вірогідностей [3]

$$P_H = 1 - (1 - p_M)^{N_{ПС}}.$$

Правомірність використання опирається на те, що події "об'єкти не закриті хмарами", які оцінюються вірогідністю p_M , при послідовних спостереженнях можна вважати незалежними. Це обумовлено незначною кореляцією хмарної обстановки на інтервалі вже більше трьох діб.

Тоді ефективну кратність обстеження об'єктів можна розрахувати по формулі:

$$N_{ПС} = \left[\frac{\ln(1 - P_H)}{\ln(1 - p_M)} \right] \uparrow_{ц.т.}$$

де $[a] \uparrow_{ц.т.}$ - найближча зверху ціла частина від "а".

Таким чином, аналітичний вираз для узагальненого показника періодичності обстеження з урахуванням цього співвідношення можна записати у вигляді

$$T^{еф} = T^б \left[\frac{\ln(1 - P_H)}{\ln(1 - p_M)} \right] \uparrow_{ц.т.}$$

У залежності від мети системних досліджень може використовуватися інша кількісна міра, яка характеризує перерви між оглядами районів, що вивчаються, і визначена інтервалом неконтрольованості $\Delta T_{НК}$ району – відрізком часу між моментом проходження супутника західної межі обстежуваного району t_3 і моментом подальшого проходження його східної межі t_B [6,7]

$$\Delta T_{НК} = \psi(T^б, v_u, \varphi_u, S_u).$$

Висновки

Таким чином, запропоновані в статті 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 системи спостереження та розпізнавання космічних апаратів.

– М., 1997. – 296 с. 4. Богомья В.И., Загоруйко А.Н., Малевинский С.В., Мироненко В.Н. Концепция 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. Режим доступу <http://www.orbimage.com>. 7. Режим доступу <http://www.spot.com>.

The article provided a set of indicators of efficiency of functioning of the system of observation and rozpoznavaniya spacecraft.

Key words: performance indicators, monitoring system and identification, the spacecraft.