

УДК 629.7

В.І. Присяжний, В.В. Мироненко

В/ч А0515

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАЗЕМНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Проводиться аналіз основних факторів, що впливають на якість функціонування наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами спостереження.*

*наземний автоматизований комплекс, космічні апарати спостереження*

### Постановка проблеми та аналіз літератури

У наш час для управління космічними системами спостереження Землі найбільшого поширення одержав програмно-часовий метод управління, що передбачає наступні етапи проходження заявки на зйомку заданої ділянки поверхні Землі [1]:

- формування заявки на зйомку;
- подача заявки в центр управління польотом (ЦУП);
- аналіз, узагальнення отриманих заявок і формування зведеної заявки на проведення зйомки й формування плану роботи бортового спеціального комплексу;
- формування в ЦУП часової програми управління (ЧПУ) з обліком ресурсних, конструктивних і енергетичних обмежень бортової апаратури космічного апарата (КА);
- очікування появи КА в зоні радіовидимості ЦУП для введення програми управління;
- передача ЧПУ та інформації керування на борт КА;
- очікування виходу КА в заданий район зйомки;
- безпосередньо сама зйомка;
- очікування появи КА в зоні радіовидимості пункту прийому для передачі інформації;
- передача інформації з борту КА на пункт прийому;
- розпакування інформації в центрі прийому спеціальної інформації (ЦПСІ) та передача для подальшої обробки в центр обробки спеціальної інформації (ЦОСІ);
- обробка інформації в ЦОСІ й передача обробленої інформації в центр архівації й поширення інформації;
- передача інформації споживачеві.

Тривалість етапів з 1 по 4, 11, 12 і 13 залежить лише від ефективності роботи комплексу наземних засобів (ЦУП, центра обробки інформації, наземної системи передачі даних).

Тривалість етапів 6, 8, 10 залежить від ефективності функціонування спеціальної апаратури на борту КА.

Тривалості етапів 5, 7, 9 визначаються, головним чином, положенням КА в даний момент часу на орбіті на момент появи необхідності проведення зйомки, розташуванням і кількістю ЦУП, ЦПСІ.

Бортові засоби управління запам'ятовують прийняті ЧПУ й відпрацьовують їх протягом інтервалу планування. Логікою управління бортовим апаратним комплексом, закладеним у бортові засоби управління, передбачається відпрацювання декількох типових часових циклів управління:

– циклу службового сеансу зв'язку, що забезпечує управління бортовою апаратурою контрольно-вимірювальних і радіотехнічних систем у режимі обміну інформацією із ЦУП;

– циклу збору спеціальної інформації, що забезпечує управління бортовими системами КА при зйомці спостережуваних об'єктів і запису отриманої інформації в запам'ятовуючий пристрій (ЗП);

– циклу скидання спеціальної інформації, що забезпечує управління бортовими системами КА при передачі інформації в ЦПСІ.

Кожний цикл управління задає часовий порядок (послідовність і інтервали) та адреси видачі керуючих впливів (команд, сигналів і установок) у бортові системи КА.

Кількість, тип, послідовність і моменти початку відпрацювання циклів на інтервалі планування визначаються часовою програмою роботи бортового апаратного комплексу. Тривалість інтервалу планування може становити від 0,5 до 7 діб (при відсутності оперативних заявок ведеться планова зйомка, при надходженні оперативної заявки в плани роботи вносяться коректування).

**Мета статті** – провести аналіз основних факторів, що впливають на якість функціонування наземного автоматизованого комплексу управління (НАКУ) космічними апаратами спостереження, що надасть змогу досліджувати можливість удоскона-

лювання науково-методичного апарата по підвищенню якості функціонування наземного автоматизованого комплексу управління космічних апаратів спостереження.

### Постановка задачі і викладення матеріалів дослідження

Зі збільшенням широти пунктів прийому збільшується кількість можливих сеансів зв'язку й зменшується час очікування сеансу зв'язку для передачі інформації на пункт прийому. Особливо слід зазначити високоширотні пункти (широта більше 75 градусів), що дозволяють відслідковувати апарат практично на кожному витку.

Довгота одиночного пункту прийому особливого значення для продуктивності системи не має, тому що траси рівномірно розподілені уздовж паралелі.

Далекість від кордонів України, важкі кліматичні умови, необхідність у високопродуктивних лініях зв'язку можуть зробити створення й експлуатацію таких пунктів для України дорогими й нерентабельними.

Для збільшення кількості сеансів зв'язку в добу необхідне використання кількох спільно працюючих пунктів. Космічний апарат може одночасно працювати тільки з одним пунктом, тому один із двох пунктів прийому, зони зв'язку яких перекриваються, буде простоювати. Отже для ефективного використання декількох спільно працюючих пунктів необхідно їх розташувати так, щоб зони зв'язку не перекривалися або мали мінімально можливе перекриття.

Одним з основних резервів підвищення ефективності й стійкості управління КА в рамках однопунктної технології є оптимізація процесу планування застосування засобів наземного автоматизованого комплексу управління й бортової апаратури КА. Від якості рішення цих завдань залежить якість рішення завдань більш високого рівня, оскільки програма роботи бортової апаратури й засобів НАКУ в технологічному циклі управління (ТЦУ), конкретизує поточний етап виконання плану вищестоящого рівня з урахуванням успішності виконання програми польоту й стану технічних засобів [2,3,4].

Щоб оцінити роль і місце задачі оптимізації оперативного планування операцій ТЦУ розглянемо зв'язок системних показників ефективності функціонування НАКУ КА з показниками, що характеризують ефективність складання плану ТЦУ.

Основною системною властивістю НАКУ КА є його функціональна ефективність, тобто динамічна властивість комплексу забезпечувати управління заданою сукупністю КА з необхідною якістю (оперативністю, надійністю, гнучкістю й іншими системними та частними характеристиками) у передбачених умовах роботи. Показником цієї властивості в

більшості випадків вибирається імовірність виконання завдань (цілей), покладених на НАКУ, або яка-небудь більш складна цільова функція.

Проведений аналіз цілей і завдань НАКУ КА показує, що основним завданням функціонування НАКУ є ефективне управління КА з метою виконання останнім, всієї програми польоту за заданий час. Враховуючі, що програма польоту реалізується як послідовність типових циклів управління КА, як показник ефективності функціонування НАКУ можна використовувати імовірність виконання технологічного циклу управління за заданий час. Даний показник істотно залежить від оперативності, надійності й гнучкості управління.

Оперативність управління можна характеризувати таким показником ефективності як середня тривалість ТЦУ ( $\bar{T}_{ТЦУ}$ ). Вона залежить від сумарної тривалості комплексу операцій взаємодії (ОВ) засобів НАКУ з КА ( $t_{спов}$ ), від тривалості сеансів зв'язку з об'єктом управління ( $t_{cc}$ ), а також від тривалості інтервалів між сеансами зв'язку ( $t_{пром}$ ) і для розглянутого класу КА запишеться у вигляді

$$\bar{T}_{ТЦУ} = \sum_{k=1}^{N_{cc}} t_{cc}^{(k)} + \sum_{k=1}^{N_{cc}-1} t_{пром}^{(k)} = \sum_{k=1}^{N_{cc}} \left( t_{спов}^{(k)} + \{t_{пи}^{(k)}\}^* + t_{рез}^{(k)} \right) + \sum_{k=1}^{N_{cc}-1} t_{пром}^{(k)}, \quad (1)$$

де  $t_{рез}$  – резервний час, не зайнятий під ОВ у сеансі зв'язку з КА;

$t_{пи}$  – тривалість прийому спецінформації;

$N_{cc}$  – кількість сеансів зв'язку з КА, необхідна для реалізації операцій ТЦУ;

$\{ \}^*$  – умовна позначка, що вказує на те, що якщо прийом спецінформації здійснюється по службових каналах зв'язку з КА, то тривалість прийому повинна включатися в тривалість ТЦУ.

Сумарна тривалість операцій взаємодії засобів НАКУ з КА є функцією від тривалості ОВ ТЦУ й залежить від ступеня сумісності окремих ОВ за часом, що умовно позначимо

$$t_{спов}^k = f(t_{КПО}^{(k)}, t_{БНО}^{(k)}, t_{ТК}^{(k)}, t_{ВО}^{(k)}),$$

де  $t_{КПО}^{(k)}$  – тривалість ОВ командно-програмного забезпечення польоту КА в k-му сеансі зв'язку;

$t_{БНО}^{(k)}$  – тривалість ОВ балістико-навігаційного забезпечення польоту КА в k-му сеансі зв'язку;

$t_{ТК}^{(k)}$  – тривалість операцій прийому й обробки ТМІ в k-му сеансі зв'язку;

$t_{ВО}^{(k)}$  – тривалість операцій по звіренню бортової шкали часу й бортового еталона часу в k-му сеансі.

Тривалість ТЦУ характеризує кількість затрачених тимчасових ресурсів і може виявитися або невиправдано завищеною, або заниженою залежно від того, наскільки повно враховані фактори супутньому процесу реалізації ТЦУ. Тому тривалість ТЦУ повинна розглядатися разом з імовірністю успішного виконання всіх запланованих операцій, що характеризує надійність управління КА.

Якщо вважати, що кожна група операцій ТЦУ по розглянутому класу КА виконується незалежно і необхідна в ТЦУ, то вираз для  $P_{ТЦУ}$  прийме наступний вигляд:

$$P_{ТЦУ} = P_{КПО} \cdot P_{БНО} \cdot P_{ТК} \cdot P_{ВО} \cdot P_{ПП}, \quad (2)$$

де  $P_{КПО}$  – імовірність достовірного командно-програмного забезпечення польоту КА, що залежить від успішності операцій за розрахунками програм управління об'єктом у сеансах зв'язку й поза зонами радіовидимості, по прийому їх командно-вимірвальними засобами й передачі на борт об'єкта;

$P_{БНО}$  – імовірність достовірного балістико-навігаційного забезпечення засобів і об'єкта, що залежить від успішності операцій по зніманню вимірвальної інформації необхідного обсягу і якості, по передачі її в балістичний центр за розрахунками параметрів руху об'єкта;

$P_{ТК}$  – імовірність правильної оцінки стану бортової апаратури та умов функціонування об'єкта за даними телеметричного контролю, що залежить від успішності операцій по зніманню телеметричної інформації, передачі її в телеметричний центр, дешифруванню й обробці;

$P_{ВО}$  – імовірність достовірного часового забезпечення управління КА, що залежить від успішності операцій по зв'язуванню й корекції бортових і наземних шкал часу, по оцінці й компенсації відходів еталонних частот;

$P_{ПП}$  – імовірність правильного прийому на зособах цілевказівок та разових команд для виконання динамічних операцій.

Таким чином,  $P_{ТЦУ}$  обчислюється через характеристики функціональних каналів (контурів), а вони, у свою чергу, залежать від показників виконання приватних операцій, по яких може збиратися статистика в процесі моделювання, випробувань або експлуатації.

Успішність виконання окремих операцій можна характеризувати трьома часовими оцінками: оптимістичною ( $t_{\min}$ ), песимістичною ( $t_{\max}$ ) та найбільш імовірною ( $t_{\text{нв}}$ ).

Виходячи із цих оцінок і закону розподілу часу виконання операції, можна визначити тривалість операції ( $t_0$ ), що забезпечує успішність її реалізації з необхідною імовірністю.

На сьогоднішній день, немає достатніх статистичних даних по всіх видах операцій взаємодії засобів НАКУ із системами КА.

Це обумовлено:

- управлінням малим числом КА, у тому числі всього одним національним ("Січ-1");
- використанням однопунктної технології управління КА;
- відсутністю відповідних довідкових нормативних таблиць і каталогів, у які б заносилися дослідні дані по всіх видах робіт.

У зв'язку із цим, часові характеристики тривалості окремих операцій доцільно задавати за результатами їхньої експертної оцінки.

Оскільки ТЦУ являє собою, по суті, паралельно-послідовний процес виконання операцій з урахуванням інтервалів очікування між послідовно реалізованими операціями, то тривалість ТЦУ є функцією випадкових величин  $t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0K}$ :

$$\bar{T}_{ТЦУ} = f(t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0K}), \quad K \gg 1,$$

де  $K$  – кількість операцій (у тому числі очікувань), що визначають тривалість ТЦУ.

А дисперсія часу виконання ТЦУ є функцією від значень дисперсій розподілу часу виконання кожної операції:

$$\sigma^2 = f(\sigma_{01}^2, \sigma_{02}^2, \dots, \sigma_{0K}^2).$$

У першому наближенні, думаючи, що відповідно до центральної граничної теореми закон розподілу часу виконання ТЦУ близький до нормального, вираз для імовірності виконання ТЦУ за заданий час ( $T_{\text{зад}}$ ) можна записати у вигляді

$$P(T_{ТЦУ} \leq T_{\text{зад}}) = 0,5 + \Phi\left(\frac{T_{\text{зад}} - \bar{T}_{ТЦУ}}{\sigma_{ТЦУ}}\right), \quad (3)$$

де  $\Phi(\bullet)$  – функція Лапласа.

На основі (3) можна сформулювати критерій найбільшої імовірнісної гарантії результату

$$J = P(\bar{T}_{ТЦУ} \leq T_{\text{зад}}) \rightarrow \max_G, \quad (4)$$

де  $G$  – безліч припустимих планів ТЦУ.

Використання даного критерію вимагає здійснювати оптимізацію як по  $\bar{T}_{ТЦУ}$ , так і по  $\sigma_{ТЦУ}$ . Однак, вплив  $\sigma_{ТЦУ}$  на імовірність  $P(\bar{T}_{ТЦУ} \leq T_{\text{зад}})$  значно менше, ніж  $\bar{T}_{ТЦУ}$ .

Тому, у розглянутих умовах, максимум у виразі (3) буде досягатися при мінімальному значенні  $\bar{T}_{ТЦУ}$ . У зв'язку із цим, замість критерію (4) для оптимізації ТЦУ можна використовувати так званий критерій найбільшого середнього результату. Даний критерій рекомендує вибирати в якості оптимальної стратегію управління  $J$ , для якої

$$J = \bar{T}_{ТЦУ} \rightarrow \min_G. \quad (5)$$

Умова збереження якості управління на рівні не гірше заданого може бути представлена як

$$P_{\text{ТЦУ}} \geq P_{\text{треб}}, \quad (6)$$

де  $P_{\text{треб}}$  – необхідна величина.

Слід також зазначити, що кількість оптимальних і близьких до них варіантів проведення технологічного циклу управління, отриманих за допомогою критерію (5), буде визначати якість функціонування наземного автоматизованого комплексу управління КА спостереження при однопунктній технології управління.

У ході багаторічної експлуатації космічних систем відзначено, що найбільше гостро стає проблема втрати даних спостереження, пов'язана з наявністю хмарності [5, 6].

Статистика одержання космічних знімків території України з КА NOAA показує, що в період із січня 1996 по грудень 1998 року втрати даних при зйомці території України становили приблизно 51%, при чому в зимові місяці – порядку 75 %, у весняні – 60%, літні – 20%, осінні – 50% (рис. 1). Отже, для підвищення якості управління, при плануванні роботи апаратури бортового спеціального комплексу КА необхідно мати можливість прогнозувати (на 12 – 48 годин уперед) рух хмарного покриття і його характеристики над районом зйомки в заданий момент часу зйомки.

За результатами робіт [7 – 9] встановлена залежність впливу хмарності на якість даних що одержуються з КА спостереження у видимому та інфрачервоному діапазонах. Так, при хмарності 0÷2 бали середнє значення імовірності ведення спостереження  $P_{\text{вр}}$  приблизно дорівнює 0,9, при хмарності 3÷7 балів – 0,6, а при хмарності 8÷10 балів вона практично дорівнює нулю, тобто вести спостереження неможливо.

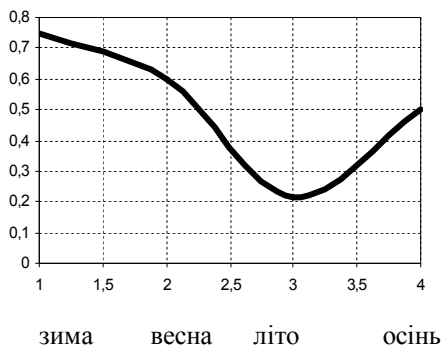


Рис. 1. Розподіл втрат даних за порами року

У той же час встановлено [7], що, наприклад, у ранкові години (з 10.00 до 12.00) хмарність зменшується.

Для підвищення кількості достовірної інформації, яка отримується під час зйомки, необхідно

при плануванні роботи апаратури спостереження найбільш повно використовувати дані про хмарний покрив у районі зйомки. Оскільки хмарний покрив швидко змінюється й переміщується в просторі, необхідно мати можливість точного прогнозування відсутності або наявності хмарного покриття і його характеристик у заданий момент часу із запасом часу 1 – 2 доби [7, 10].

## Висновки

Проаналізувавши фактори, що впливають на якість функціонування наземного автоматизованого комплексу управління КА спостереження при однопунктній технології управління, доцільно провести оцінку якості функціонування наземного автоматизованого комплексу управління в сучасних умовах, що надасть змогу досліджувати можливість удосконалювання науково-методичного апарату по підвищенню якості функціонування наземного автоматизованого комплексу управління космічних апаратів спостереження, безпосередньо до вітчизняного наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами.

## Список літератури

1. *Аванпроект составной части космической системы «Сич-2». Наземный специальный комплекс "Сич-2". ДП «Дніпрокосмос». – 25527406.002. 003. ПЗ. – Днепропетровск, 2002. – 304 с.*
2. *Баринов К.Н. Динамика и принципы построения орбитальных систем КА. – М.: Машиностроение, 1975. – 232 с.*
3. *Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.*
4. *Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Высшая школа, 1970. – 450 с.*
5. *Богомья В.И., Загоруйко А.Н. Перспективы внедрения ГИС/ДЗЗ технологий в решение прикладных региональных задач // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2002. – С. 277-282.*
6. *Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.*
7. *Герман М.А. Основы космических методов исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 368 с.*
8. *Горелов В.А., Лукашевич В.А., Стрельцов В.А. Космические системы детального наблюдения Земли. – М.: ГИС-ассоциация, 1999. – Вып. 4 (1998). – С. 26-35.*
9. *Использование космического пространства в военных целях и перспективы развития космических сил США / Под ред. В.И. Анненкова. – М.: МО РФ, 1995. – 216 с.*
10. *Матвеев Л.Т. Динамика облаков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 312 с.*

Надійшла до редколегії 2.04.2007

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