

---

УДК 621.396.77

Д.П. Пашков

Національний університет оборони України, Київ

## **МЕТОДИКА ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ БОРТОВОГО СПЕЦІАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ**

*У статті розглядаються принципи роботи сучасних і перспективних бортових спеціальних комплексів космічних апаратів спостереження. Серед концептуальних особливостей технології проектування бортових оптико-електронних систем (ОЕС) нового покоління виділяються гіперспектральні системи і зокрема бортові відеоспектрометри. У статті розглядаються особливості функціонування і планування роботи відеоспектрометрів космічних апаратів (КА) спостереження для передачі інформації в реальному масштабі часу.*

**Ключові слова:** відеоспектрометр, спектральні характеристики, спектральна фільтрація.

### **Вступ**

Корисне навантаження космічного апарату характеризується в першу чергу цільовим призначенням (необхідним виконанням цільових завдань), вибором цільової бортової апаратури, її вагогабаритними параметрами, а також цілим рядом характеристик, від яких залежить якість отримуваної інформації [1]. При цьому, одним з перспективним підходів для дистанційного моніторингу, є використання гіперспектральної зйомки [1].

**Аналіз літератури.** Аналіз літератури [2, 3] і оцінка стану питання побудови космічних систем дистанційного моніторингу [4] показало, що спостереження земної поверхні з космосу у видимому діапазоні, і зокрема якість отриманого зображення залежить від висоти супутника над Землею, характеристик оптико-електронних пристроїв, принципами побудови оптичних систем, освітленості ділянки, що знімається, сонячним світлом, стану хмарного покриву над ним, оптичного стану атмосфери у момент зйомки, типа і стану підстилаючої поверхні та інці.

Під час збору гіперспектральних даних здійснюється чотири операції по їх вибірці, які впливають на виконання цільових завдань розпізнавання об'єкту або процесу [5, 6]: просторова, спектральна, радіометрична і часова. Просторова вибірка надає роздільну спроможність (розмір елементу зображення), що змінюється від одиниць до десяткам метрів, і залежить від розміру апертури оптичної частини і висоти польоту КА. Спектральна роздільна спроможність залежить від диспергуючого елементу оптико-електронної системи. Задана роздільна спроможність при радіометричній вибірці визначається властивостями аналого-цифрового перетворювача безперервної амплітуди випромінювання в цифрові дані на кожній вузькій ділянці спектру. Радіометрична роздільна спроможність визначається кількістю градацій значень кольору, відповідних переходу від яскравості абсолютно «чорного» до абсолютно «білому», і виражається в кількості біт на піксель зображення.

Однією з найбільш важливих властивостей космічних систем ДЗЗ, є періодичність зйомки одних і тих же областей земної поверхні. Періодичність зйомки важливе для вирішення завдань, де здійснюється постійне спостереження за об'єктами.

Серед тих, що з'явилися в останнє десятиліття систем гіперспектральної зйомки на основі сучасних оптико-електронних систем можна виділити відеоспектрометри, що дозволяють отримати інформацію як про просторовий розподіл яскравості спостережуваної сцени (по координатах), так і про спектральний склад випромінювання, що приходить від окремих ділянок сцени [4]. Відеоспектрометрична зйомка є еволюційним розвитком багатоспектральних систем, коли завдяки диспергуючому елементу, кількість каналів збору інформації збільшується в сотні разів. В результаті формується багатовимірне просторово-спектральне зображення, в якому кожна елементарна ділянка зображення характеризується власним спектром. Накладення спектральної інформації на зображення об'єкту дозволяє вивчити кожен об'єкт, як по просторових, так і спектрально-енергетичним характеристикам. Це істотно підвищує вірогідність виявлення об'єкту.

**Постановка завдання.** Проте, при реалізації відеоспектральної зйомки виникає комплекс завдань пов'язаний з реєстрацією, запам'ятовуванню і передачею інформації з бортового спеціального комплексу (БСК) КА на наземний інформаційний комплекс (НІК). Дані завдання пов'язані в першу чергу з різким збільшенням об'єму інформації, що передається [5, 6]. Окрім цього висувуються ряд вимог, як за швидкістю передачі інформації в радіоканалі, так і оперативної доставки космічних зображень для локалізації (повені, повеней, пожеж і ін.) і усунення їх наслідків.

На сьогоднішній день рішення даної задачі здійснюється підвищенням якісних характеристик радіопередавального тракту. Проте даний напрям не дозволяє реалізувати передачу спеціальної інформації в повному об'ємі.

Тому, **метою статті** є розробка методики планування роботи бортового спеціального комплексу космічних апаратів оптико-електронного спостереження, для оперативної передачі інформації (у реальному масштабі часу) на НІК.

### Виклад основного матеріалу

Розглянемо принцип дії на основі логіки функціонування систем управління БСК КА існуючої космічної системи КС5МФ4 [7]. При цьому, основними режимами роботи космічного апарату дистанційного зондування Землі, є:

- а) режим включення підсистем платформи і здійснення орієнтації і стабілізації КА;
- б) режим сеансу зв'язку з наземною станцією поєднаної командно-телеметричної радіолінії;
- в) режим зйомки земної поверхні поза зоною видимості наземної станції прийому інформації (НСП) із запам'ятовуванням інформації або в зоні видимості НСП;
- г) режим передачі спеціальної інформації з КА на НСП;
- д) режим наукових вимірів;
- е) черговий режим;
- ж) режим обмеженого функціонування.

При цьому, нас цікавить режими роботи бортового спеціального комплексу **б, в і г**, які можуть накладатися один на одного з врахуванням фактичного поєднання зон видимості НСП, наземній станції управління КА і з врахуванням програми роботи комплексу наукової апаратури.

Розглянемо особливості функціонування підсистеми даних корисного навантаження (ПДКН), яке призначене для збору і стискування інформації корисного навантаження, зберігання інформації в пристрої бортової пам'яті, формування транспортних кадрів інформації і передачі їх в апаратуру Х-діапазону зв'язної підсистеми (ЗПС). При цьому, ПДКН забезпечує:

1. Прийом інформації з оптичного пристрою многозонального скануючого пристрою (МСП) і інформації анотації з підсистеми даних платформи (ПДП);
2. Стискування відеоінформації МСП;
3. Зберігання інформації, що приймається;
4. Формування транспортних кадрів інформації оптичного корисного навантаження з включенням в них інформації анотації;
5. Передачу транспортних кадрів в апаратуру Х-діапазона зв'язною підсистемою (ЗПС);
6. Прийом з ПДП команд управління ПДКН;

7. Прийом і передачу команд управління режимами роботи МСП;

8. Передачу в ПДП телеметричної інформації про стан ПДКН.

У режимі зйомки виробляється запис в бортову пам'ять ПДКН інформації зйомки з МСП. Режим зйомки реалізується послідовністю команд управління апаратурою Х-діапазона, ПДКН, МСП, у відповідності розроблених алгоритмів управління бортовою апаратурою КА. При цьому, апаратура ПДКН працює в режимах: запам'ятовування інформації (ЗІ), продовження ЗІ, «Стискування», «Продовження стискування» в режимі стереозйомки. Основними етапами режиму зйомки є:

– підсистема даних платформи починає функціонувати в режимі «основна робота»;

– модуль телеметрії починає забезпечувати знімання інформації з бортового спеціального комплексу, для визначення його працездатності;

– підсистема визначення і управління орієнтацією працює в режимі програмних поворотів, задіяному по масиву програмних поворотів, забезпечуючи наведення МСП програмними поворотами КА відносно орбітальної системи координат на заданий сюжет зйомки (програмні кути поворотів в цьому режимі, зокрема, можуть мати і нульові значення);

– підсистема електропостачання функціонує в будь-якому з 3-х режимів: режим відсутності обмежень, режим обмеження зарядів, режим ступінчастого дозаряду. Кожен режим задіюється за сигналами, що формуються апаратурою управління і контролю відповідно до логіки роботи підсистеми електропостачання залежно від стану хімічної батареї;

– приймач GPS працює в режимі навігаційних визначень (вказаний режим включається по разовій команді «Включення основного каналу приймача GPS», «Включення резервного каналу приймача GPS»).

У режимі передача відеоінформації зберігається в бортовій пам'яті ПДКН інформація зйомки видається в апаратуру Х-діапазона і по радіолінії передається на НСПІ

Режим передачі відеоінформації реалізується послідовністю команд управління апаратурою Х-діапазона і ПДКН. У цьому режимі апаратура Х-діапазона спочатку включається в «Режим хронізатора», а потім в робочий режим. У робочому режимі включається передавач апаратури Х-діапазона і продовжується синхронізація ПДКН. Окрім цього, в режимі передачі відеоінформації може передаватися тестова інформація ПДКН або тестова інформація апаратури Х-діапазона. При цьому, МСП в режимі передачі відеоінформації не включаються.

Основними етапами в режимі передачі відеоінформації, є ті ж що і при режимі зйомки. При необ-

хідності (і наявності можливості) передачі знятої в зоні радіовидимості НСПІ відеоінформації до виходу КА з цієї зони, режимах зйомки і передачі відеоінформації можуть поєднуватися. У зв'язку з необхідністю забезпечення умов зв'язку КА з НСПІ таке поєднання можливе лише при зйомці в надір або з програмним кутом нахилу не більше 5°. Поєднання режимів реалізується незалежними послідовностями команд управління апаратурою Х-діапазона, ПДКН, МСП, відповідно до яких передача інформації зйомки починається одночасно з початком зйомки і закінчується:

– після закінчення зйомки при передачі інформації всіх спектральних каналів МСП;

– одночасно із закінченням зйомки при передачі інформації спектрального каналу і прорідженої інформації панхроматичного каналу МСП.

В цілях реалізації необхідних функцій для ПДКН визначені наступні режими роботи:

– режим безпосередньої передачі інформації МСП через бортовий пристрій пам'яті (БПП) ПДКН в апаратуру Х-діапазона ЗПС;

– режим оперативної передачі інформації одного каналу МСП в апаратуру Х-діапазона ЗПС без використання БПП. При цьому передається не більше 2/3 ширини смуги огляду МСП;

– режим запису інформації МСП в БПП, починаючи з нульової адреси запису;

– режим запису інформації МСП в БПП, починаючи з поточної адреси запису (початкова адреса запису може бути також задана довільно);

– режим відтворення інформації з БПП в апаратуру Х-діапазона ЗПС, починаючи з нульової адреси читання;

– режим відтворення інформації з БПП в апаратуру Х-діапазона ЗПС, починаючи з поточної адреси читання (початкова адреса читання може бути також задана довільно);

– режим стискування інформації МСП і запис її в БПП, починаючи з нульової адреси запису;

– режим стискування інформації МСП і запис її в БПП, починаючи з поточної адреси запису (початкова адреса запису може бути також задана довільно);

– режим зберігання інформації в БПП (даний режим характеризується мінімальним вжитком потужності пристроями пам'яті (ППМ), останні вузли ПДКН знаходяться у відключеному стані, перехід в режим здійснюється по разовій команді, тривалість режиму визначається необхідністю зберігання інформації в бортовому пристрої пам'яті);

– режим тестування радіолінії – ПДКН передає в апаратуру Х-діапазона ЗПС тестову інформацію (режим проходить без порушення цілісності інформації, що зберігається в БПП ПДКН);

- режим швидкого тестування БПП;
- режим повного тестування БПП (тестуванню піддається весь адресний простір кожній з мікрохем пам'яті БПП; режим проходить з «стиранням» інформації, що зберігається в БПП).

Залежно від програми роботи МСП, що задається, може здійснювати відеозйомку одним, двома, трьома або чотирма каналами одночасно. При цьому передбачається робота МСП в наступних режимах зйомки:

- з різними коефіцієнтами посилення відеосигналу в каналах МСП;
- з включення/виключення компенсації погіршеності оптики в каналах МСП.

У кожному із спектральних каналів МСП може бути встановлений мінімальний коефіцієнт посилення відеосигналу або коефіцієнт посилення. Вибір режиму посилення визначається характеристиками об'єкту, що знімається, і умовами зйомки.

Тривалість режиму задається залежно від величини ділянки підстилаючої поверхні відеозйомки і вільного об'єму пам'яті ПДКН.

Управління МСП здійснюється разовими або програмними командами.

Канали МСП не зберігають завдання, встановлені для попередніх сеансів роботи. У кожному сеансі включення мають бути задані необхідні режими роботи каналів МСП.

Бортова апаратура Х-діапазона ЗПС (ЗПС-Х) у складі приймального і антенного фідера пристрою Х-діапазона призначена для передачі групового цифрового потоку інформації від підсистеми корисного навантаження ПДКН по радіоканалу на наземну станцію прийому інформації. При цьому, ЗПС-Х може працювати в одному з 3-х режимів: режим хронизатора; робочий режим; режим внутрішнього тестування.

У режимі хронизатора ЗПС-Х формує тактові синхрочастоти для ПДКН, передавальна частину при цьому відключена. Режим включається, коли ПДКН працює в режимі зйомки або внутрішнього тестування без передачі інформації по радіоканалу ЗПС-Х.

У робочому режимі ЗПС-Х передає по радіоканалу бітовий інформаційний потік, що поступає від ПДКН, і видає тактові частоти в ПДКН.

У режимі внутрішнього тестування ЗПС-Х передає по радіоканалу власну тестову інформацію для незалежного контролю функціонування.

У одному сеансі включення ЗПС-Х при необхідності може бути реалізована послідовність режимів «Режим хронизатора» – «Робочий режим» – «Режим внутрішнього тесту».

При цьому, перед включенням по окремих командах виробляється підготовка до включення одного з напівкомплектів. Цей вибір запам'ятовується

для подальших сеансів включення і не вимагає підтвердження. Управління роботою ЗПС-Х здійснюється за допомогою команд управління.

Враховуючи особливості побудови перспективних систем [4, 7], а також необхідність передачі спеціальної інформації в реальному масштабі часу, виникає необхідність вдосконалення алгоритмів планування роботи в космічній системі. Тому розробимо методику планування роботи БСК КА оптико-електронного спостереження (рис. 1) для передачі зображення в реальному масштабі часу.

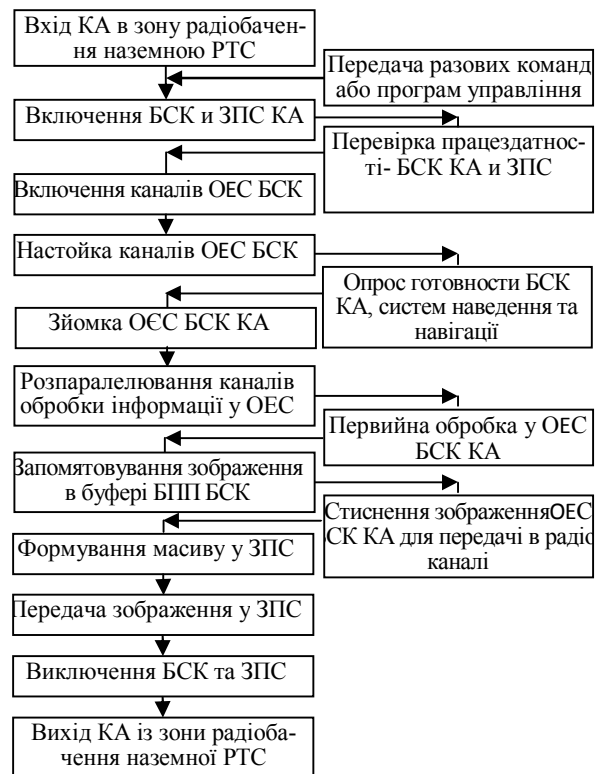


Рис. 1. Схема методики планування роботи БСК КА для передачі зображення в реальному масштабі часу

На рис. 1 представлена загальна структурна схема методики планування роботи БСК КА оптико-електронного спостереження. Особливістю запропонованої методики є:

- передача разових команд або тимчасових програм на виявлення необхідного об'єкту ( в даному випадку відбувається вибір з банку даних необхідного спектру об'єкту пошуку);

- одночасне включення і перевірка працездатності БСК і ЗПС КА оптико-електронного спостереження;

- налаштування спектральних каналів в ОЕС для ідентифікації наземних об'єктів по спектральних ознаках [6, 8];

- розпаралелювання каналів обробки інформації в ОЕС;

- обробка, формування і стискування спектрального зображення в БПП [9];

– формування масиву інформації для передачі в радіоканалі в реальному масштабі часу на НІК [10].

Таким чином, на основі розробленої методики, можна організувати передачу зображення локалізованого об'єкту пошуку в реальному масштабі часу.

### Висновки

1. Проведені дослідження показали, що традиційні принципи інформаційних технологій в даний час випробовують необхідність пошуку нових, нестандартних ідеологій інформаційного обміну, які є потенційними на вживання при розробках перспективних багатопроекторних засобів обробки інформації, а також систем передачі даних між елементами космічної системи. При цьому, продовжується безперервне вдосконалення в цілому технічних засобів радіоканалу.

2. В даний час при реалізації інформаційних систем спеціального призначення в переважній більшості випадків ставиться питання про вибір характеру адаптації, тобто ряду конкретних інформаційних параметрів.

3. У найближчій перспективі при інтеграції різних технічних засобів може з успіхом використовуватися організація засобів передачі даних, що використовує адаптовані принципи до умов функціонування систем реального часу.

4. Впровадження перспективних технологій передачі даних в БСЬК КА наступного покоління доцільно лише при значному вдосконаленні інформаційних характеристик функціонального устаткування (датчиків, засобів відображення і так далі) і інформаційно-алгоритмічного забезпечення, що безпосередньо обґрунтовує необхідність вживання інформаційних технологій з підвищеними функціональними характеристиками.

### Список літератури

1. Дистанційне зондування Землі інформаційні технології збирання, оброблення та використання даних аерокосмічного спостереження Землі / під ред. В.І. Волошина та В.М. Корчинського. – Д.: Проспект, 2007. – 208 с.
2. Гуцин В.Г. Основы устройства космических аппаратов / В.Г. Гуцин. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.
3. Конструирование автоматических космических аппаратов / под ред. Д.И. Козлова. – М.: Машиностроение, 1996. – 448 с.
4. Пашков Д.П. Анализ развития оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли / Д.П. Пашков // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ. – 2008. – Вип. 4(8). – С. 15-17.
5. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования / У.Г. Рис. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
6. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
7. Космический аппарат КС5МФ4. Логика работы подсистем КА. Т.О.1. – Днепропетровск: ГП КБ «Южное» им. М.К. Янгеля. 2010. – 109 с.
8. Пашков Д.П. Метод спектральной фільтрації в відеоспектрометрах дистанційного зондування / Д.П. Пашков // Системи озброєння і військова техніка: наук. ж. – Х.: ХУПС. – 2010. – Вип. 1(21). – С. 181-184.
9. Рубан І.В. Метод обработки цифрового изображения для локализации информативных областей / И.В. Рубан, О.В. Шитова, Д.П. Пашков // Зб. наук. пр. Моделювання та інформаційні технології. – К.: ІПМЕ НАНУ, 2010. – Вип. 55. – С. 225-229.
10. Пашков Д.П. Анализ передачи специальной информации в бортовых системах космических аппаратов дистанционного зондирования Земли / Д.П. Пашков // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ. – 2007. – Вип. 3. – С. 32-34.

Надійшла до редколегії 12.10.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», Київ.

### МЕТОДИКА ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ БОРТОВОГО СПЕЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

Д.П. Пашков

*В статье рассматриваются принципы работы современных и перспективных бортовых специальных комплексов космических аппаратов наблюдения. Среди концептуальных особенностей технологии проектирования бортовых оптико-электронных систем (ОЭС) нового поколения выделяются гиперспектральные системы и в частности бортовые видеоспектрометры. В статье рассматриваются особенности функционирования и планирования работы видеоспектрометров космических аппаратов (КА) наблюдения для передачи информации в реальном масштабе времени.*

**Ключевые слова:** видеоспектрометр, спектральные характеристики, спектральная фильтрация.

### METHOD OF PLANNING OF WORK OF THE SIDE SPECIAL COMPLEX OF SPACE VEHICLES OF OPTIC-ELECTRONIC SUPERVISION

D.P. Pashkov

*Principles of work of the modern and perspective side special complexes of space vehicles of supervision are examined in the article. The hyperspectral systems and in particular side videospetrometers exude between the conceptual features of technology of planning of the side optic-electronic systems (OES) of new generation. In the article the features of functioning and planning of work of videospetrometers of space vehicles (SV) of supervision for the transmission of information are examined in the real time.*

**Keywords:** videospetrometer, spectral descriptions, spectral filtration.