

УДК 621.3

М.Ф. Пічугін<sup>1</sup>, Д.В. Карлов<sup>1</sup>, О.О.Клімішен<sup>1</sup>, О.Ю. Чернявський<sup>1</sup>, І.А. Кухарський<sup>2</sup><sup>1</sup> Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків<sup>2</sup> В/ч А0515, Київ

## ОСОБЛИВОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОБІЛЬНИХ МІСІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ВИКОРИСТАННЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

*Розглянуті особливості інформаційного забезпечення мобільних місій за допомогою використання космічних апаратів подвійного призначення. Запропоновано алгоритм знаходження квазіоптимального плану на основі графової моделі процесу спостереження. Розроблена методика автоматизованого планування на основі графової моделі процесу спостереження дозволяє зменшити вплив помилок оператора на якість планування, підвищити ефективність виконання завдань за допомогою використання матеріалів космічної зйомки при умові квазіоптимального планування роботи бортового спеціального комплексу.*

**Ключові слова:** мобільні місії, космічний апарат подвійного призначення, бортовий комплекс.

### Вступ

**Актуальність.** В арміях провідних країн світу триває активна робота щодо пошуку доцільних прийомів і способів реагування на сучасні загрози національної та колективної безпеки.

У збройних силах США, Франції, Великої Британії, країн Бенілюкс та Росії почала впроваджуватися концепція «мобільних місій», яка базується на мобільності військ (сил) і широкому застосуванні різноманітних систем розвідки в плинному масштабі часу.

У цілому, за поглядами іноземних фахівців, концепція мобільних місій дозволяє діяти вибірково, ефективно та результативно, забезпечити ефективне військове стримування і досягати перемоги у військових конфліктах майбутнього не чисельністю солдат, а якісним підходом (органічним поєднанням технологічної, мобільної та професійної переваги над противником).

Реалізація вказаної концепції також розпочата у Збройних силах України. Зазначене потребує глибоких функціональних військових трансформацій, у першу чергу, поєднання в єдину систему різноманітних цивільно-військових елементів висвітлення обстановки (активно-пасивних стаціонарних і мобільних радарів та сонарів, комплексів радіо- і радіотехнічної розвідки, тепловізійних систем, радіотехнічних та оптико-електронних комплексів розвідувальних супутників Землі, безпілотних літальних апаратів).

Аналіз застосування космічних засобів в сучасних збройних конфліктах дозволяє зробити висновки про їх зростаюче значення в сфері оперативного інформаційного забезпечення збройних сил [1 – 3]. Можливість отримання необхідної інформа-

ції практично в режимі реального часу особливо важлива для забезпечення мобільних місій, у яких приймають участь частини та підрозділи Збройних Сил (ЗС) України.

Проте в нашій державі на сучасному етапі космічної діяльності не планується створення вітчизняних космічних систем суто військового призначення. Тому для вирішення зазначеного кола завдань будуть задіяні космічні системи оптико-електронного та радіолокаційного спостереження подвійного призначення [4].

Задача застосування космічних систем подвійного призначення (КСПП) в інтересах мобільних місій є новою, тому виникає потреба в удосконаленні технології застосування КСПП, розподілу їх ресурсу між військовими та цивільними замовниками. Одним зі шляхів вирішення такої задачі є вдосконалення планування процесу застосування КСПП за цільовим призначенням.

**Аналіз останніх досліджень.** Задача планування цільового застосування космічних систем спостереження розглядалась та вирішувалась в [1 – 3, 5 – 8]. Більшість розглянутих методик планування в цілому орієнтовані на евристичні методи та мають невисокий ступінь автоматизації; всі вони не враховують специфіку завдань, які необхідно вирішити при участі ЗС у мобільних місіях.

**Мета статті** – розробка методики планування космічного спостереження, що здійснюється КСПП в інтересах інформаційного забезпечення частин та підрозділів ЗС України, що залучаються для проведення мобільних місій.

### Результати досліджень

Можна виділити такі основні етапи методики планування космічного спостереження [6]: форму-

вання масивів даних, побудова моделі планування з врахуванням специфіки технічної задачі, безпосереднє рішення оптимізаційної задачі, системні дослідження методики.

З урахуванням визначених вище етапів, зазначена методика складається з таких пунктів:

**1. Априорна оцінка можливостей космічних засобів.** Алгоритм даної оцінки викладено в [6,8]. В даних роботах визначаються моменти часу початку та кінця спостереження наземних об'єктів, умови спостереження, можливі сеанси зв'язку з КА, здійснюється прогноз метеорологічної обстановки в районах спостереження (для оптико-електронних засобів), оцінюється стан бортових систем та наземних засобів тощо.

**2. Априорна оцінка якості матеріалів космічного спостереження.** Виходячи з завдань, основними вимогами, що висуваються до матеріалів космічної зйомки, є оперативність їх отримання, повнота та достовірність.

В [1 – 3] визначено, що якість матеріалів космічної зйомки, що надходять до замовника від космічної системи спостереження, залежить від таких чинників:

- характеристики апаратури спостереження (спектральні характеристики, чутливість приймального пристрою, роздільна здатність тощо);
- умови спостереження (освітленість, хмарність, стан атмосфери, світлотіньова структура району спостереження, висота Сонця над місцевістю тощо);
- збурення орбітального руху КА (відхилення КА від розрахункової орбіти, неточність систем корекції і орієнтації);
- випадкові порушення технологічного процесу при обробці, накопиченні, передачі, зборі, дешифруванні й інтерпретації інформації через відмови і збої в бортових і наземних системах, перешкоди у радіоканалах, алгоритмічні та програмні помилки тощо.

На етапі планування цільового застосування КСПП оптимізацію плану доцільно проводити за рахунок зйомки в сприятливих умовах (мінімальний кут відхилення вісі бортової апаратури, максимальна освітленість наземного об'єкта). Інші чинники враховуються як обмеження (характеристики бортової апаратури, метеорологічні умови, збурюючі фактори орбітального руху КА).

Основні показники якості радіолокаційного спостереження викладені в [5, 8]. Пропонується взяти за основу дану систему показників якості та доповнити їх показниками оптико-електронного спостереження.

Розрізнення на місцевості для оптико-електронних систем в площині, що є перпендикулярною до лінії візування, визначається за виразом:

$$\delta_l = \gamma_{\text{оес}} \cdot R_n, \quad (1)$$

де  $\gamma_{\text{оес}}$  - миттєвий кут поля зору (кутове розрізнення), рад.;  $R_n$  - похила дальність до об'єкта розвідки, м.

Відношення сигнал/шум для оптико-електронних систем:

$$q \approx 0,25\theta^2 \bar{\tau}_a \bar{\tau}_c \bar{\tau}_o E_c (\bar{\gamma} + \bar{\chi}) \frac{t_e}{N_e}, \quad (2)$$

де  $\theta = d_0 / f$  - відносний отвір об'єктива;  $d_0$  - діаметр вхідної зіниці об'єктива, м;  $f$  - фокусна відстань об'єктива, м;  $\bar{\tau}_a \bar{\tau}_c \bar{\tau}_o$  - середній спектральний коефіцієнт пропускання в видимому діапазоні відповідно атмосфери, світлофільтра та об'єктива;  $E_c$  - освітленість об'єкта, лк;  $\bar{\gamma}, \bar{\chi}$  - середній спектральний коефіцієнт яскравості у видимому діапазоні об'єкта та димки відповідно;  $t_e$  - час експозиції при вимірюванні порогової освітленості, с;  $N_e$  - порогова експозиція, лк · с.

Хмарність пропонується оцінювати за ймовірністю відсутності хмарності над і-м об'єктом розвідки на  $j$ -му витку, що розраховується за формулою:

$$P_{ij} = \frac{I_x - B_i / 2}{I_x + I_n - B_i / 2}, \quad (3)$$

де  $I_x, I_n$  - середні горизонтальні розміри хмар та просвітів між ними;  $B_i$  - смуга огляду бортової оптико-електронної апаратури при проведенні розвідки і-го об'єкта.

В подальшому за викладеною в [6] методикою проводиться розрахунок нормованих априорних оцінок показників якості космічного спостереження та розрахунок узагальненого показника якості.

Результатом априорної оцінки якості матеріалів космічного спостереження є масиви даних, які використовуються для побудови математичної моделі процесу спостереження.

**3. Математична модель процесу космічного видового спостереження.** Запропоновано модель процесу спостереження у вигляді зваженого графа, на вершини якого накладаються штрафи у відповідності до витрат ресурсу КА при проведенні зйомки наземних об'єктів.

Масиви "штрафів" формуються, виходячи з априорної оцінки витрат енергетики та ресурсу бортового запам'ятовуючого пристрою КА. Елементи масиву "штрафів" за енергетикою КА визначаються за априорною оцінкою витрат енергії при зйомці і-го об'єкта за допомогою виразу:

$$\delta_{E_i} = t_{si} E_i, \quad (4)$$

де  $t_{si}$  - прогнозована тривалість можливого спостереження  $K$ -го об'єкта, с;  $E_i$  - швидкість розрядки акумуляторних батарей з врахуванням можливості їх зарядки при спостереженні і-го об'єкта, Вт/с.

Масив "штрафів" за ємністю бортового запам'ятовуючого пристрою визначається, виходячи з апіорної оцінки об'єму інформації, що записується при спостереженні наземних об'єктів  $J_{OСК}$ . Тоді, з урахуванням виразу для оцінки об'єму інформації про визначені об'єкти спостереження у форматі конкретної КСПП:

$$\delta_{3Пi} = J_{OСК} = J_{Ei} \frac{S_{OCi}}{S_{EЛi}}, \quad (5)$$

де  $J_{Ei}$  - об'єм інформації одного елемента розрізнення (піксели зображення) на місцевості, біт;  $S_{OCi}$  - оцінка загальної площі  $i$ -го об'єкта, що буде знята,  $m^2$ ;  $S_{EЛi}$  - площа елемента розрізнення  $i$ -го об'єкта на місцевості,  $m^2$ .

В цілому графова модель процесу космічного спостереження дозволяє врахувати основні обмеження ресурсу КА та застосувати для оптимізації плану класичні методи знаходження найкоротших шляхів.

**4. Алгоритм знаходження квазіоптимального плану на основі грифової моделі процесу спостереження (рис.1).** Одним із найбільш ефективних в обчислювальному відношенні алгоритмів знаходження найкоротшого шляху з урахуванням додаткових обмежень на вершини графа є "жадібний" алгоритм [9]. Він дозволяє знаходити наближене рішення задачі планування в режимі часу, близькому до реального. При цьому бажано, щоб усі об'єкти спостереження мали однаковий пріоритет.

Для роботи алгоритму створюється кілька допоміжних масивів:  $Q, E$  масиви вершин, відповідні їм масиви довжин  $D, V$ , шляхів  $M_n, M_p$  і „штрафів”  $R1_n, R2_n$ . Перед початком роботи алгоритму всі допоміжні масиви є порожніми.

Основна суть алгоритму (рис. 1) полягає в наступному: у вхідному графі  $G$  всі вершини графа розміщуються у відповідності до пріоритетів об'єктів; в підмножині вершин графа з максимальним коефіцієнтом пріоритетності знаходять вершину з мінімальною вагою, що задовольняє обмеженням, після чого обрана вершина включається до масиву результуючого шляху  $M_p$ , а масиви обмежень  $\theta_{EM}$  та  $\theta_l$  коректуються відповідно до «штрафів», накладених на обрані вершини. Робота алгоритму закінчується, коли переглянуті всі вершини, після чого виводяться номери вершин, які включені до результуючого масиву  $M_p$ .

Знайдений шлях мінімальної довжини визначає послідовність та час зйомки наземних об'єктів.

**5. Формування програми управління КА.** Для формування календарного плану роботи бортового спеціального комплексу (БСК) КСПП визначаються моменти часу включення та виключення бортової спеціальної апаратури, режими її роботи. На основі розробленого плану роботи БСК складається план роботи бортового комплексу забезпечення та часова програма управління апаратурою КА, після чого відбувається їх узгодження та затвердження.

**6. Корекція методики планування космічного спостереження.** На етапі дослідної та штатної експлуатації розробленої методики автоматизованого планування важливим є блок корекції. Основною задачею блоку є уточнення розроблених моделі та алгоритмів за результатами порівняння апіорних оцінок можливостей бортових засобів та якості матеріалів космічної зйомки, отриманими при експлуатації КА.

В узагальненому вигляді методика космічного спостереження представлена на рис. 2.

## Висновки

Розроблена методика автоматизованого планування на основі графової моделі процесу спостереження дозволяє зменшити вплив помилок оператора на якість планування, підвищити ефективність виконання завдань за допомогою використання матеріалів космічної зйомки при умові квазіоптимального планування роботи БСК.

**Перспективи подальших досліджень.** Суттєвим фактором, що зменшує точність даної методики, є різке зростання часу розрахунків при веденні спостереження різнотипних наземних об'єктів. Для зменшення часу розрахунків знаходиться лише наближене рішення задачі планування.

Один зі шляхів підвищення ефективності запропонованої методики планування полягає в розробці алгоритму приведення складних різнотипних об'єктів, що спостерігаються, до простих, що дозволить зменшити час розрахунків практично без втрати оптимального рішення.

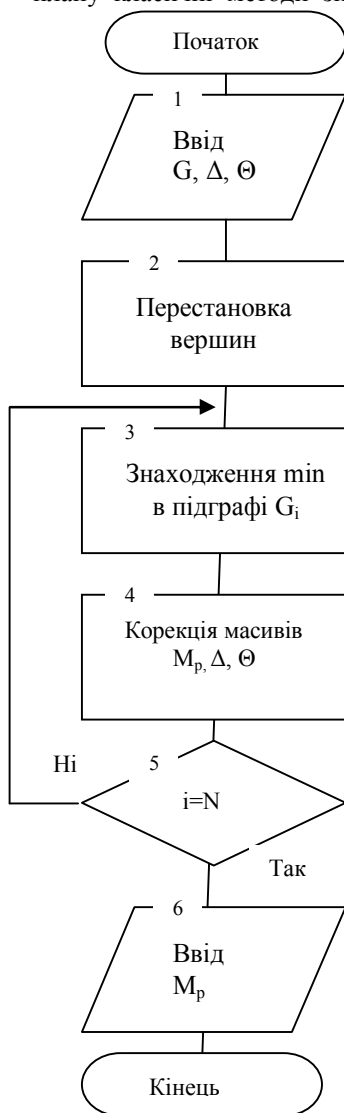


Рис. 1. Алгоритм знаходження квазіоптимального плану

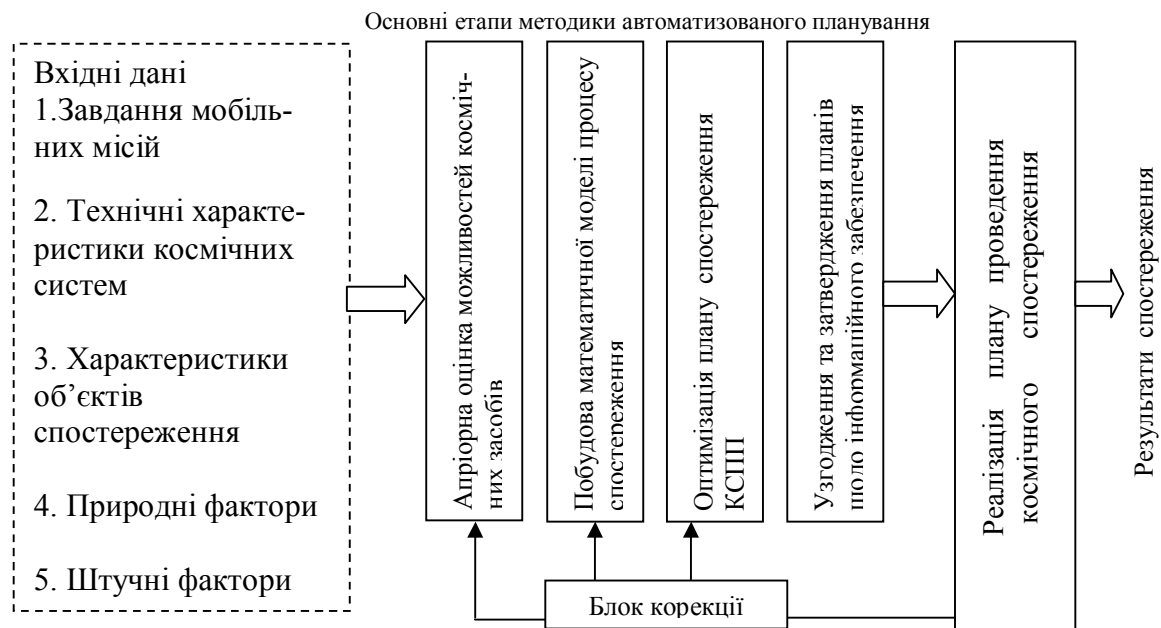


Рис. 2. Методика автоматизованого квазіоптимального оперативного планування роботи апаратури БСК КСПП

## Список літератури

1. Мосов С. Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах: Монография / С. Мосов. – К.: Изд. дом «Румб», 2008. – 248 с.
2. Мосов С. Беспилотная разведывательная авиация стран мира: история создания, опыт боевого применения, современное состояние, перспективы развития: Монография / С. Мосов. – К.: РУМБ, 2008. – 160 с.
3. Зарубіжні системи дистанційного зондування Землі з космосу подвійного призначення. Історія створення, принципи дії, застосування і перспективи розвитку / О.О. Негода, В.Б. Толубко, С.П. Мосов, М.Ф. Пічугін. – К.: НАОУ, 2005. – 271 с.
4. Загальнодержавна (Національна) космічна програма України на 2003-2007 роки. Розділ 5. Цільова космічна програма в інтересах національної безпеки і оборони України.
5. Певцов Г.В. Особливості інформаційного забезпечення видів ЗС України з використанням супутникових даних: Доповідь / Г.В. Певцов, Д.В. Карлов, Г.В. Худов. – Житомир: ЖВІ НАУ. – 2001. – 240 с., С. 152-153.
6. Ханцеверов Ф.Р. Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли / Ф.Р. Ханцеверов, В.В. Остроухов. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
7. Балістико-навігаційне забезпечення управління перспективними вітчизняними космічними апаратами / Пічугін М.Ф., Карлов Д.В., Клімишен О.О., Чернявський О.Ю. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2012. – № 2 (8). – С. 128-133.
8. Гриб Д.А. Проблеми використання супутникових даних дистанційного зондування Землі для рішення задач Повітряних Сил Збройних Сил України / Д.А. Гриб, Д.В. Карлов, Г.В. Худов // Системи озброєння і військова техніка. – 2008. – № 2(14). – С. 76-79.
9. Липский В. Комбинаторика для программистов: Пер. с польск. / В. Липский. – М.: Мир, 1988. – 213 с.

Надійшла до редколегії 20.06.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОСОБЕННОСТИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ МИССИЙ ПРИ ПОМОЩИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

М.Ф. Пичугин, Д.В. Карлов, А.О.Климишен, А.Ю. Чернявский, И.А. Кухарский

Рассмотрены особенности информационного обеспечения мобильных миссий при помощи использования космических аппаратов двойного назначения. Предложен алгоритм нахождения квазиоптимального плана на основе графовой модели процесса наблюдения. Разработанная методика автоматизированного планирования на основе графовой модели процесса наблюдения позволяет уменьшить влияние ошибок оператора на качество планирования, повысить эффективность выполнения заданий с помощью использования материалов космической съемки при условии квазиоптимального планирования работы бортового специального комплекса.

**Ключевые слова:** мобильные миссии, космический аппарат двойного назначения, бортовой комплекс.

## FEATURES OF INFORMATIVE PROVIDING OF MOBILE MISSIONS THROUGH THE USE OF SPACE VEHICLES OF DOUBLE-DUTY

M.F. Pichugin, D.V. Karlov, A.O.Klimishen, A.Yu. Chernyavskiy, I.A. Kucharskiy

The features of the informative providing of mobile missions are considered through the use of space vehicles of double-duty. The algorithm of finding of plan is offered on the basis of vulture model of process of supervision. The developed method of the automated planning on the basis of count model of process of supervision allows to decrease influence of operator errors on quality of planning, to promote efficiency of implementation of tasks by the use of materials of space survey on condition of the planning of work of the side special complex.

**Keywords:** mobile missions, space vehicle of double-duty, side complex.