

МОЖЛИВИЙ ПІДХІД ДО ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ МАРШРУТІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ НАЗЕМНИХ ОБ'ЄКТІВ У ЗАДАЧАХ КОСМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Запропоновано спрощену аналітичну модель кутового руху космічних апаратів (КА) у завданнях перенацілювання вузького поля зору бортової цільової апаратури (БЦА) оптико-електронного спостереження (ОЕСп) з одного наземного об'єкта (НО) на інший. Формалізовано ряд типових стратегій, які дозволяють сформувати раціональні маршрути обслуговування множини НО в межах смуги захоплення.

Постановка проблеми. В Україні відповідно до Загальнодержавної (Національної) космічної програми на 2013–2017 роки передбачене провадження космічної діяльності в інтересах національної безпеки та оборони, у тому числі з використанням дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) із космосу [1, 2].

Тенденція створення сучасних космічних систем (КС) ДЗЗ полягає в тому, що в них планується використовувати БЦА ОЕСп з *вузьким* миттєвим полем зору [3–5]. Цим досягається прийнятна якість одержання або передачі цільової інформації (ЦІ), однак обмежуються розміри та кількість обслуговуваних ділянок Землі, окремих НО, тобто знижуються об'єми ЦІ. Через це передбачають режим програмного *перенацілювання* КА з одного об'єкта на інший у межах смуги захоплення [6, 7]. Але, оскільки в цій смузі може знаходитися велика кількість різних за важливістю НО, виникає *проблема вибору* раціональних маршрутів обслуговування (спостереження) цих НО.

Під *маршрутом обслуговування* НО розумітимемо *траєкторію руху* проекції зони огляду КА на земну поверхню, тобто його смугу огляду, яка в загальному випадку може не збігатися з трасою КА за рахунок відхилення візирної осі БЦА від надира.

У ряді випадків під маршрутом обслуговування НО достатньо розуміти траєкторію руху *точки візування* (ТВ) земної поверхні як точки перетину Землі візирною віссю БЦА.

Огляд останніх досліджень і публікацій. Проблемі організації раціонального землеогляду з космосу присвячено ряд наукових праць [5–9], однак їх аналіз показує, що одні автори приділяють увагу здебільшого питанням моделювання кутового руху КА та перенацілювання візирної осі БЦА з одного НО на другий [5, 6], а інші – розрахункам параметрів контрольованих ділянок Землі поодинокими КА [7–9].

У той же час у зазначених публікаціях питання вибору раціональних маршрутів обслуговування (спостереження) множини НО не розглядають.

Тому **метою статті** є спроба частково вирішити проблему організації раціонального обслуговування заданої кількості НО поодиноким КА за рахунок комплексного використання його поступального й обертового рухів.

Виклад основного матеріалу. Процес перенацілювання БЦА здійснюють за рахунок некерованого орбітального й керованого кутового руху КА. При цьому керування кутовим рухом реалізують за допомогою бортових систем орієнтації та стабілізації (СОС), що мають обмежений ресурс і відносно невеликі швидкості (одиниці градусів за секунду) переорієнтації КА [5, 6].

Крім того, при таких обмеженнях СОС може знадобитися обслужити на одному витку кілька НО, розташованих у смузі захоплення КА. Однак через близьке взаємне розташування цих об'єктів уздовж траси та значні віддалі поперек траси може виникати дефіцит часу на їх обслуговування, що призведе або до пропуску окремих НО, або до помилкового обслуговування та марної витрати бортового ресурсу. У таких умовах доцільно поставити завдання на обслуговування максимальної кількості найбільш важливих об'єктів.

У зв'язку з цим виникає потреба в організації такого маршруту (траси) візирної осі БЦА, щоб якнайкраще у деякому сенсі задовольнити максимум заявок споживачів ЦІ. Інакше кажучи, необхідно розробити стратегію раціонального (в ідеалі – оптимального) обслуговування НО.

Для вирішення такого завдання необхідно синтезувати геометричну модель переміщення поля зору КА на задані НО, а потім розробити відповідні критерії та показники, а також правило прийняття рішень.

Спрощена модель переорієнтації КА. Вважатимемо, що спостереження за НО проводять на коротких часових інтервалах і при невеликих відхиленнях візирної осі БЦА від надира. У такому разі можна нехтувати добовим обертанням Землі та її сферичністю.

Приймемо, що керування кутовим рухом КА здійснюють тільки за двома каналами СОС (за креном η і тангажем ϑ). У такому разі рухома точка перетину візирної осі БЦА з поверхнею Землі – точка візування (ТВ), – рухаючись певним маршрутом, утворюватиме трасу візирної осі, яка в межах смуги захоплення відхилятиметься від траси КА (рис. 1а).

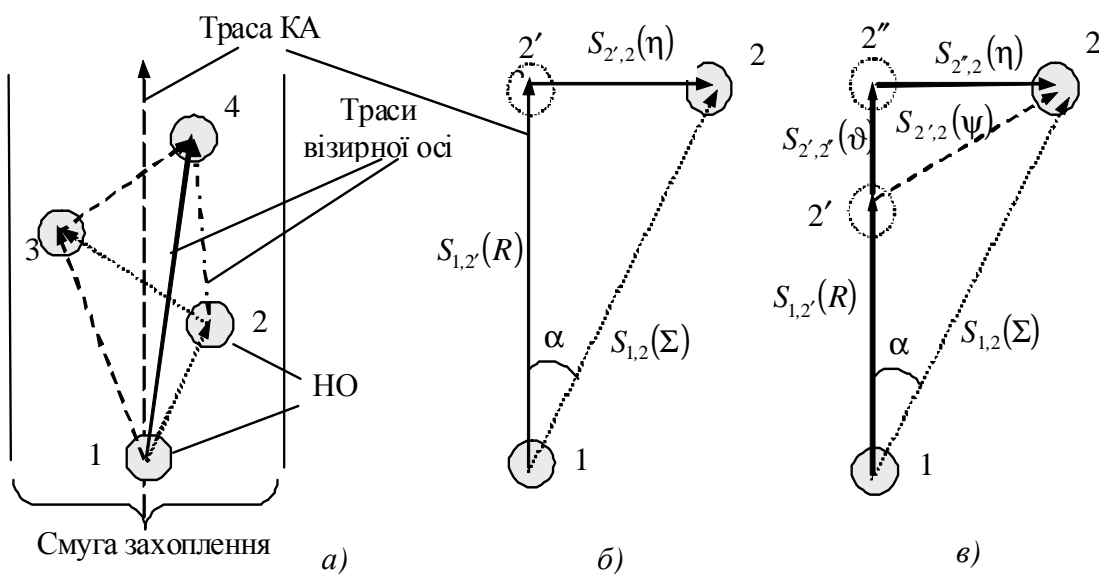


Рис. 1. Модель простих просторових переміщень візирної осі БЦА:
 а) варіанти переорієнтації візирної осі БЦА між НО; б) переорієнтація вправо;
 в) переорієнтація вперед-вправо

При обслуговуванні двох НО в ситуації, зображеній на рис. 1б, маршрут ТВ можна виразити через суму векторів її орбітального $\bar{S}_{1,2'}(R)$ і кутового $\bar{S}_{2',2}(\eta)$ переміщень:

$$\bar{S}_{1,2}(\Sigma) = \bar{S}_{1,2'}(R) + \bar{S}_{2',2}(\eta). \quad (1)$$

При обслуговуванні двох НО в ситуації, зображеній на рис. 1в, маршрут ТВ можна за аналогією описати як

$$\bar{S}_{1,2}(\Sigma) = \bar{S}_{1,2'}(R) + \bar{S}_{2',2}(\psi); \quad (2)$$

$$\bar{S}_{2',2}(\psi) = \bar{S}_{2'2'}(\vartheta) + \bar{S}_{2'2}(\eta). \quad (3)$$

Далі для спрощення записів, де це прийнятно, цифрові праві нижні індекси замінюватимемо за принципом $S_{1,2'}(R) = S_*(R)$.

Особливістю вектора орбітального переміщення $\bar{S}_*(R)$ є те, що в даному випадку він є *некерованим*. Його модуль можна визначити за формулою

$$S_*(R) \approx V_{nm} \tau_*^R, \quad (4)$$

де $V_{nm} = V \frac{R_3}{R_3 + H}$ – лінійна швидкість підсупутникової точки (ПТ) [10];

$V = \sqrt{\mu_0 / (R_3 + H)}$ – лінійна швидкість КА;

$\mu_0 = 3,98602 \text{ км}^3 / \text{с}^2$ – гравітаційний параметр Землі;

$R_3 = 6371 \text{ км}$ – середній радіус Землі;

H – висота орбіти;

$\tau_*^R = t_{2'}^R - t_1^R$ – інтервал часу орбітального польоту КА від НО 1 до зображення (проекції на трасу) 2' НО 2 (рис. 1б);

$t_{2'}^R$ і t_1^R – моменти обслуговування НО 2' і 1 відповідно.

Складові вектора кутового переміщення ТВ (3) визначають за висотою орбіти H і кутовою швидкістю КА за креном $\dot{\eta}(t)$ або тангажем $\dot{\vartheta}(t)$. Якщо прийняти $\dot{\eta}(t) = \dot{\eta} = const$, $\dot{\vartheta}(t) = \dot{\vartheta} = const$, що часто застосовують на практиці, то

$$S_*(\vartheta) \approx W_{\vartheta} \tau_*^{\vartheta}; \quad (5)$$

$$S_*(\eta) \approx W_{\eta} \tau_*^{\eta}, \quad (6)$$

де

$$W_{\eta} \approx H \dot{\eta}; \quad (7)$$

$$W_{\vartheta} \approx H \dot{\vartheta} \quad (8)$$

– лінійні швидкості руху ТВ на Землі в площині крену і тангажа відповідно (рис. 2а);

$\tau_*^\eta = t_2^\eta - t_2^\eta$ – інтервал часу переорієнтації з об'єкта 2'' на об'єкт 2 за креном;

$\tau_*^\vartheta = t_2^\vartheta - t_2^\vartheta$ – інтервал часу переорієнтації з об'єкта 2' на об'єкт 2'' за тангажем.

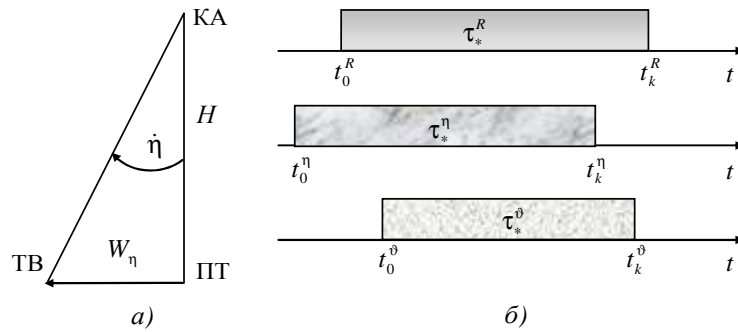


Рис. 2. До визначення інтервалів куткових маневрів КА

Якщо для узагальнення ввести кінцевий t_k^* та початковий t_0^* моменти відповідних часових інтервалів, то можна подати розглянуті ситуації так, як показано на рис. 2б.

У такому разі зауважимо:

а) на модуль вектора $\bar{S}_*(R)$ можна впливати лише через вибір моментів початку t_0^R і кінця t_k^R відліку інтервалу часу τ_*^R ;

б) на модулі векторів $S_*(\vartheta)$ та $S_*(\eta)$ можна впливати як через вибір моментів початку t_0^* і кінця t_k^* відліку інтервалів часу τ_*^ϑ та τ_*^η , так і через вибір відповідних швидкостей переорієнтації КА (7) і (8);

в) залежно від величини і взаємного розташування відповідних часових інтервалів (див. рис. 2б) можливі такі варіанти куткових маневрів КА:

якщо $(\tau_*^\eta = \tau_*^R) \wedge (\tau_*^\eta \in \tau_*^R) = 1$, то керування за тангажем не потрібне;

якщо $(\tau_*^\eta < \tau_*^R) \vee [(t_0^\eta < t_0^R) \wedge (\tau_*^\eta = \tau_*^R)] = 1$, то потрібне керування за тангажем “вперед”;

якщо $(\tau_*^\eta > \tau_*^R) \vee [(t_0^\eta > t_0^R) \wedge (\tau_*^\eta = \tau_*^R)] = 1$, то потрібне керування за тангажем “назад”.

Використовуючи вирази (2)...(8), можна обчислювати модуль результуючого вектора (1), а також кут його орієнтації відносно траси польоту КА – **трасовий кут** α (див. рис. 1б, в), який однозначно визначає стратегію перенацілювання візирної осі БЦА з об'єкта 1 на об'єкт 2.

Приклади типових стратегій перенацілювання

Стратегія 1. Перенацілювання вправо (див. рис. 1б). Модуль результуючого вектора перенацілювання можна записати (індекси упущені) як

$$S(\Sigma) = \sqrt{[S(R)]^2 + [S(\eta)]^2}, \quad (9)$$

а його орієнтацію задати трасовим кутом

$$\alpha = \arctg [S(\eta) / S(R)]. \quad (10)$$

Стратегія 2. Перенацілювання вправо-вперед (див. рис. 1в). Модуль результуючого вектора перенацілювання визначається як

$$S(\Sigma) = \sqrt{S^2(R) + S^2(\Psi) + 2S(R)S(\vartheta)}; \tag{11}$$

$$S^2(\Psi) = S^2(\vartheta) + S^2(\eta),$$

а його орієнтація – через трасовий кут

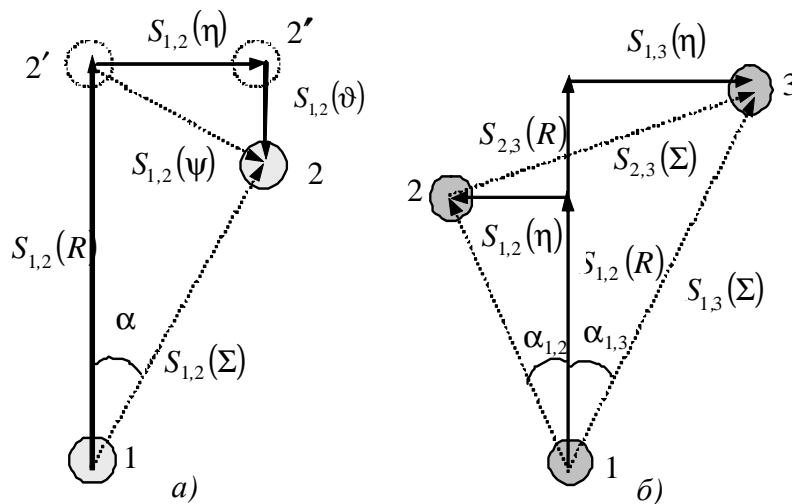
$$\alpha = \arctg \{S(\eta) / [S(R) + S(\vartheta)]\}. \tag{12}$$

Стратегія 3. Перенацілювання вправо-назад (рис. 3а). Відповідні параметри можна визначити як

$$S(\Sigma) = \sqrt{S^2(R) + S^2(\Psi) - 2S(R)S(\vartheta)}; \tag{13}$$

$$\alpha = \arctg \{S(\eta) / [S(R) - S(\vartheta)]\}. \tag{14}$$

Стратегія 4. Перенацілювання вліво-вправо-вперед (рис. 3б). Це одна із складних стратегій, коли необхідно в темпі орбітального польоту встигнути навести поле зору на об'єкт 2 ліворуч, а потім переорієнтуватися на об'єкт 3 праворуч від траси польоту КА.



*Рис. 3. Модель складних просторових переміщень візирної осі БЦА:
а) переорієнтація вправо-назад; б) переорієнтація вліво-вперед-вправо*

Як видно із рис. 3б, відповідні параметри для стратегії 4 можна визначити в такий спосіб:

$$S_{1,2}(\Sigma) = \sqrt{S_{1,2}^2(R) + S_{1,2}^2(\eta)}; \tag{15}$$

$$\alpha_{1,2} = \arctg [S_{1,2}(\eta) / S_{1,2}(R)]; \tag{16}$$

$$S_{2,3}(\Sigma) = \sqrt{S_{2,3}^2(R) + [S_{1,2}(\eta) + S_{1,3}(\eta)]^2}; \tag{17}$$

$$\alpha_{2,3} = \alpha_{1,2} + \alpha_{1,3}; \quad (18)$$

$$S_{1,3}(\Sigma) = \sqrt{[S_{1,2}(R) + S_{2,3}(R)]^2 + S_{1,3}^2(\eta)}; \quad (19)$$

$$\alpha_{1,3} = \arctg \left\{ S_{1,3}(\eta) / [S_{1,2}(R) + S_{2,3}(R)] \right\}. \quad (20)$$

Наведений перелік стратегій не є вичерпним, а лише є прикладом технології визначення інших можливих стратегій. Як видно із отриманих залежностей (1)...(20), для колових і майже колових орбіт успішність процедури перенацілювання поля зору КА з одного НО на інший залежить від взаємного розташування цих об'єктів, їх координат відносно траси, а також від швидкодії та ресурсу СОС.

Раціональні маршрути обслуговування об'єктів. Розроблені моделі дозволяють сформулювати раціональні маршрути обслуговування НО. Для цього необхідно побудувати потенційно можливі маршрути, а потім вибрати із них раціональні.

Кількість *потенційно можливих* маршрутів залежить від кількості заданих НО, а також від їх взаємного розташування і може виявитися непомірно великою. Тому для спрощення завдання необхідно ввести ряд *обмежень і уточнень*, а саме:

1. Нумерацію об'єктів у смузі захоплення здійснювати за певними правилами, наприклад, *зліва направо* по ходу руху КА (див. рис. 1а), причому поряд зі звичайною нумерацією 1, 2,... застосовувати, коли це необхідно, також імена НО, наприклад, $P_1, P_2 \dots P_g, \dots P_f, \dots$

У цьому випадку можна реалізувати такі маршрути, коли НО з меншими номерами обслуговуються не пізніше НО з більшими номерами.

2. Будь-який маршрут повинен починатися з *одного і того ж* НО, наприклад, з НО p_1 (рис. 4а). Це означає, що НО p_1 вважається уже обслугованим і далі необхідно побудувати маршрут обслуговування решти НО.

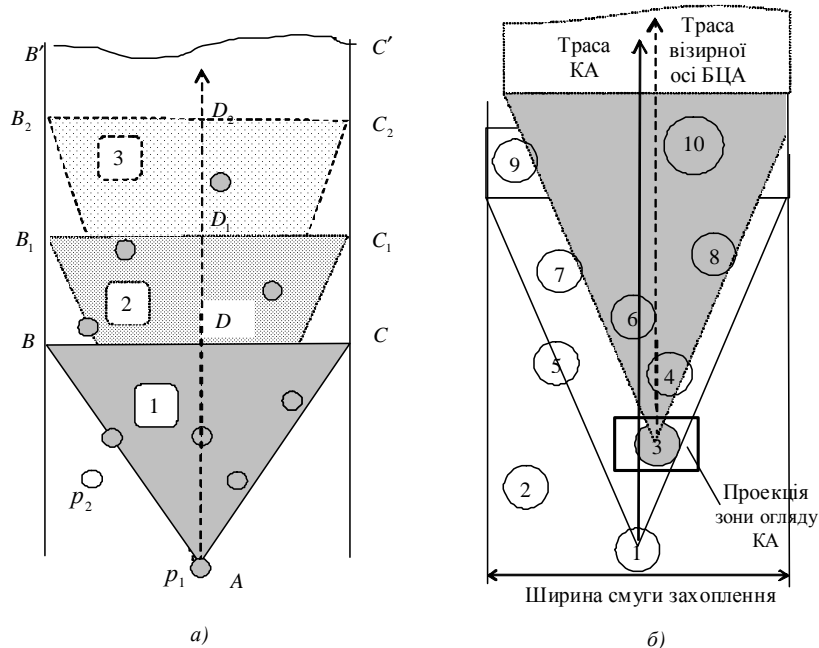


Рис. 4. До поняття миттєвої зони обслуговування та вибору маршрутів:
 а) миттєві смуги обслуговування: 1 – потенційна; 2 – раціональна; 3 – допустима;
 б) до вибору маршрутів обслуговування

3. Керування кутовим рухом КА здійснюють тільки за креном η . Тоді стають неприйнятними маршрути, де потрібно “озиратися”, тобто відпадає стратегія типу “вправо-назад” (див. рис. 3а).

4. Із декількох НО, розташованих на одній лінії перпендикулярно до траси КА, планують до обслуговування тільки один НО.

Далі необхідно:

а) розбити множину заданих НО на дві неперетинні підмножини: об'єктивно *придатні* для обслуговування (ОПО) $p^+ = \{p_f^+\}, f = \overline{1, F^+}$ та об'єктивно *непридатні* (ОНО) $p^- = \{p_f^-\}, f = \overline{1, F^-}$ об'єкти;

б) розробити множину *допустимих маршрутів* \mathfrak{R}_μ^0 обслуговування ОПО об'єктів;

в) із цієї множини вибрати раціональні (переважні, квазіоптимальні, оптимальні) маршрути \mathfrak{R}_μ^p .

Для *розбивання множини* заданих НО на підмножини ОПО й ОНО введемо поняття *миттєвої смуги обслуговування* (МСО), яка є частиною смуги захоплення у формі рівнобедреного трикутника ΔABC (рис. 4а), що переходить далі в прямокутник з нескінченно віддаленою стороною $B'C'$.

Така смуга рухається на плоскій поверхні Землі трасою візирної осі БЦА зі швидкістю ПТ. Вершина A трикутника ΔABC тимчасово розташовується в центрі першого із запланованих до обслуговування НО (об'єкт p_1 на рис. 4а), а бісектриса цього кута – паралельно трасі польоту КА.

Висоту AD трикутника однозначно визначають за шириною смуги захоплення КА, кутовою швидкістю $\dot{\eta}$ і максимальним часом програмних розворотів КА за креном $t^{np} = \tau_{max}^\eta$, тобто часом досягнення візирною віссю БЦА максимального кутового положення $\eta = \eta_{max}$ (межі смуги захоплення) у сталому режимі.

Оскільки ширина смуги захоплення КА і його кутова швидкість прийняті постійними, то висота AD трикутника залежить тільки від часу t^{np} , на який можна тим чи іншим чином впливати.

Об'єкти, що потрапили в МСО, віднесемо до ОПО, а решту (наприклад, об'єкт p_2 на рис. 4а) – до категорії ОНО.

Далі необхідно розташувати вершину A в центрі чергового за номером ОПО об'єкта (об'єкт 3 на рис. 3б) паралельно трасі КА та визначити наступну підмножину ОПО тощо.

Для автоматизації розрахунків необхідно перейти від геометричної моделі МСО до аналітичної. Для цього можна скористатися таким підходом.

Визначальним параметром ΔABC є кут α_{max} при вершині A , який можна розрахувати для кута $\eta = \eta_{max}$ за аналогією із формулами (4)...(10) як

$$\alpha_{max} = \arctg [S_{max}(\eta) / S_{max}(R)]; \quad (21)$$

$$S_{max}(\eta) = H\eta_{max} = W_\eta \tau_{max}^\eta; \quad (22)$$

$$S_{max}(R) = V_{nm} \tau_{max}^n. \quad (23)$$

Із виразів (21)...(23) видно, що кут α_{max} визначають тільки за співвідношенням лінійних швидкостей ТВ у площині крену W_η та ПТ V_{nm} , тобто динамікою візирної осі БЦА:

$$\alpha_{max} = \arctg \left[W_\eta / V_{nm} \right]. \quad (24)$$

Як випливає із формули (24), кут α_{max} , а отже, і МСО можна збільшити при фіксованих параметрах орбіти тільки за рахунок збільшення кутової швидкості КА за креном, чого можна досягти через додаткові енерговитрати або удосконалення СОС.

Застосовуючи отримані вирази для визначення кутових положень окремих НО p_g і p_f , можна розрахувати відповідні *трасові кути*

$$\alpha_{g,f} = \arctg \left[\alpha_{max} \tau_{g,f}^n / \tau_{g,f}^R \right]. \quad (25)$$

Порівнюючи трасові кути окремих НО (25) з максимальним кутом (24), можна віднести об'єкти до ОПО або ОНО категорій за правилом:

$$\mathfrak{R}_\mu = \begin{cases} p^+, & \text{якщо } |\alpha_{g,f}| < \alpha_{max}; \\ p^0, & \text{якщо } \alpha_{g,f} = \alpha_{max}; \\ p^-, & \text{якщо } |\alpha_{g,f}| > \alpha_{max}, \end{cases} \quad (26)$$

де p^0 – підмножина не визначених з погляду можливостей обслуговування НО, розташованих на межі розділу (наприклад, на лініях AB і AB' на рис. 4а).

Для розробки множини *допустимих маршрутів* обслуговування ОПО об'єктів можна скористатися методом прямого перебору та задати їх послідовністю, упорядкованою за ходом руху КА, у вигляді

$$\mathfrak{R}_\mu^+ = \{p_1, \dots, p_g, \dots, p_f, \dots\}, \mu = 1, 2, \dots \quad (27)$$

Наприклад, для ситуацій, наведених на рис. 4б, можна сформувати множину таких допустимих маршрутів:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}_1^+ &= \{p_1, p_3\}; \\ \mathfrak{R}_2^+ &= \{p_1, p_3, p_4\}; \\ \mathfrak{R}_3^+ &= \{p_1, p_3, p_4, p_8\}; \\ \mathfrak{R}_4^+ &= \{p_1, p_3, p_6, p_7\}. \end{aligned} \quad (28)$$

У цьому прикладі всі маршрути починаються з одного і того ж НО, а всі НО розташовані послідовно в порядку зростання їх номерів. Це дозволяє суттєво спростити евристичну процедуру формування множини прийнятних маршрутів.

У подальшому планується розробити науково-методичний апарат для автоматизованого формування раціональних маршрутів обслуговування НО на основі оптимізаційних процедур.

Висновки

1. Для формування раціональних маршрутів обслуговування НО в задачах космічних спостережень запропоновано спрощену модель переорієнтації поля зору БЦА на задані НО в межах зони захоплення КА з урахуванням його орбітального та кутового руху. Основу цієї моделі становлять аналітичні залежності, що є параметрами векторів лінійних переміщень ТВ на обмежених часових інтервалах.

2. Для прийняття рішень щодо можливості або неможливості обслуговування (спостереження) заданих НО введено поняття МСО. На основі аналізу поточних ситуацій з використанням моделі (шаблону) МСО можна розбити множину заданих НО на дві неперетинні підмножини: ОПО й ОНО об'єкти, – а далі планувати маршрути спостереження тільки першої категорії НО, тобто раціонально розподіляти обмежені можливості орбітальних засобів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2013–2017 роки, затверджена Законом України від 5 вересня 2013 року № 439-VII [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
2. Концепція реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 березня 2011 р. № 238-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
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. Дистанционное зондирование Земли из космоса: получение и использование информации : монография / Е. И. Бушуев, В. И. Волошин, Е. И. Капустин и др. ; под общ. ред. С. П. Мосова. – Днепропетровск : Стилус, 2012. – 320 с.
5. Фриз С. П. Технологія моделювання кутового руху космічних апаратів спостереження Землі / С. П. Фриз // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України : наук.-техн. журнал. – Х. : ХУПС, 2013. – Вип. 1 (10). – С. 209–213.
6. Фриз П. В. Моделювання процесів перенацілювання поля зору космічних апаратів у завданнях оптико-електронного спостереження Землі / П. В. Фриз // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2013. – Вип. 8. – С. 26–37.
7. Фриз С. П. Науково-методичний апарат для розрахунків параметрів землегляду у завданнях детальних космічних спостережень / С. П. Фриз // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2013. – Вип. 8. – С. 149–161.
8. Петрожалко В. В. Методика розрахунку кута відхилення оптичної осі технічного засобу ДЗЗ для максимізації площі спостереження заданого району / В. В. Петрожалко,

С. П. Фриз // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. праць. – К. : ДП “ЦНДІ навігації і управління”, 2011. – Вип. 2 (18). – С. 29–32.

9. Фриз С. П. Систематизований математичний апарат для розрахунків розмірів контрольованих ділянок земної поверхні в задачах космічних спостережень конічною зоною огляду при її відворотах від надира за креном / С. П. Фриз // Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – Житомир : ЖДТУ, 2013. – Вип. № 1 (64). – С. 100–109.

10. Фриз П. В. Основи орбітального руху космічних апаратів : підручник / П. В. Фриз. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2012. – 348 с. : іл.

Подано 22.05.2015

П. В. Фриз

ВОЗМОЖНЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ РАЦИОНАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ ОБСЛУЖИВАНИЯ НАЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЗАДАЧАХ КОСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Предложена упрощенная аналитическая модель углового движения космических аппаратов в задачах перенацеливания узкого поля зрения бортовой целевой аппаратуры оптико-электронного наблюдения с одного наземного объекта на другой. Формализован ряд типичных стратегий, которые позволяют сформировать рациональные маршруты обслуживания множества наземных объектов в пределах полосы захвата.

P. V. Frees

POSSIBLE APPROACH TO THE FORMATION OF RATIONAL SERVICE ROUTE OF GROUND OBJECTS IN PROBLEMS OF SPACE-BASED OBSERVATIONS

A simplified analytical model of angular motion of spacecraft in problems retargeting narrow field of vision-board target equipment optronic observation from one object to another land. To formalize a number of typical strategies that allow to form rational land routes serve many objects within the stripe of capture.