

УДК 629.78

С.П. Фриз

*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова НАУ, Житомир*

## ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ КУТОВОГО РУХУ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗЕМЛІ В ІНТЕРЕСАХ ВИРІШЕННЯ ОПЕРАТИВНИХ ЗАВДАНЬ

Пропонується для формалізації процесів, які виникають при відворотах відносно центру мас космічних апаратів (КА) спостереження Землі, використовувати спеціально розроблені логіко-аналітичні функції (ЛАФ). Показано, що ці функції є зручними для опису часткових і комплексних просторово-часових параметрів кутового руху КА на різних етапах їх функціонування, в тому числі і при вирішенні оперативних завдань. Запропоновано їх використовувати як для порівняльного аналізу систем управління кутовим рухом КА, так і для оцінювання ступеня впливу характеристик цих систем на якість і обсяги цільової інформації (ЦІ) космічних систем спостереження (КСС).

**Ключові слова:** кутовий рух космічних апаратів, логіко-аналітична функція, програмний розворот космічного апарату, прецизійна орієнтація космічного апарату.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Загальновідомо, що при спостереженнях Землі із космосу обсяги одержуваної корисної ЦІ та її якість істотно залежать від параметрів орбітального (поступального) і кутового (обертального) руху КА [1]. Ці параметри визначаються як передбачуваними (проектними) їх значеннями, так і випадковими складовими, що виникають через вплив збурювальних факторів космічного простору. При цьому, якщо орбітальний рух у задачах безпосереднього спостереження є некерованим (балістичним), то кутовий рух, як правило, потребує оперативного цільового управління з метою наведення поля зору бортової цільової апаратури (БЦА) на заданий об'єкт та кутової стабілізації візирної осі БЦА в моменти зйомки [2].

Дослідження у цьому напрямку набувають особливої актуальності у нинішніх умовах, коли в Україні реалізуються державні програми послідовного і цілеспрямованого створення КСС в інтересах народного господарства, науки, оборони і безпеки та міжнародного співробітництва.

Традиційно КСС використовуються для вирішення планових завдань, коли споживачі ЦІ завчасно подають заявки на спостереження певних районів Землі, а орган управління системою планує роботу засобів, формує відповідну бортову програму управління та планомірно реалізує її в заданий час. При цьому реалізується здебільшого автоматизоване управління процесом спостережень.

В той же, як свідчить досвід останніх подій у світі, КСС може бути одним із основних джерел інформації для вирішення оперативних завдань – завдань, які необхідно виконувати терміново або за обмежений час у будь-який час року та доби в інтересах оборони, безпеки, попередження техногенних катастроф, кризових ситуацій та ін.

У цих умовах існує науково-прикладна проблема організації і реалізації оптимального або хоча б раціонального управління кутовим рухом КА даного класу. Відомо [3], що управління кутовим рухом КА здійснюється за допомогою систем орієнтації і стабілізації (СОС), які являють собою бортові системи автоматичного управління (САУ). Особливість таких СОС полягає в тому, що вони здебільшого поєднують у собі властивості систем програмного, слідкувального і стабілізуючого типів, а тому є складними багатоконтурними САУ. Зрозуміло, що для дослідження таких САУ та вирішення проблем раціонального управління кутовим рухом КА в цілому слід створювати відповідні моделі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням процесів управління кутовим рухом КА за допомогою подібних СОС присвячено ряд робіт [4, 5, 6, 7, 8]. Однак аналіз цих робіт та інших публікацій показав, що частина з них охоплює лише окремі питання аналітичного опису СОС, інша частина – тільки питання технічної реалізації тих або інших їх елементів і підсистем. У той же час проблема комплексного опису процесів у СОС і ступеня їхнього впливу на якість виконання цільових завдань космічними системами досліджені недостатньо.

Зокрема, як на етапі розробки СОС, так і на етапі їхнього застосування виникають потреби в одержанні кількісних залежностей для оцінювання ступеня впливу на обсяги та якість ЦІ параметрів кутового руху КА. З цією метою, а також і для вирішення інших конкретних завдань спостереження, слід мати розрахункові співвідношення, які залежно від потреб можуть бути або аналітичними, або логічними, або логіко-аналітичними. Зокрема, як показує досвід досліджень, для повного опису процесів у складних КСС найбільше підходять логіко-аналітичні моделі.

Такий підхід базується на правилах булевої алгебри, причому найчастіше з використанням двозначної

логіки [9], тобто двозначних логічних функцій (ЛФ). При цьому основними операціями над булевими змінними та ЛФ виступають логічний добуток (кон'юнкція) і логічне додавання (диз'юнкція). Зазначимо, що операція логічного добутку декількох булевих перемінних (функцій) є не що інше, як вибір *мінімальної* з них за правилом  $x \wedge y = \min(x, y)$ . Операція логічного додавання цих змінних забезпечує вибір *максимальної* з них за правилом  $x \vee y = \max(x, y)$ .

Поряд з цим за необхідності такі моделі можна вдосконалити за рахунок застосування *багатозначної* логіки [10], тобто багатозначних ЛФ. Наприклад, шкалою багатозначної логіки доцільно описувати частку контрольованої площі заданого району або об'єкта, ступеня освітленості їх Сонцем, рівні хмарності над ними, ступінь погіршення якості зображень при відхиленнях поля зору КА від надира і т.п. Застосовуючи такі функції, можна задавати як зазвичай малий крок дискретизації, а отже, досягати необхідних точностей опису процесів.

**Постановка завдання.** Використання двозначних і багатозначних ЛФ у задачах моделювання забезпечує достатньо простий перехід від шкали абсолютних значень величин до шкали їх нормованих безрозмірних значень, що виявляється зручним для порівняльного аналізу й оптимізації технічних, управлінських і організаційних рішень.

Якщо поряд з логічними змінними й операціями над ними застосувати й органічно об'єднати з ними аналітичні вирази та арифметичні операції, то одержимо логіко-аналітичний опис системи, тобто ЛАФ.

У зв'язку з цим **метою** даної статті є розробка раціональної технології моделювання процесів, що виникають при кутовому русі КА, на основі ЛАФ.

### Виклад основного матеріалу

Для досягнення поставленої мети введемо попередньо ряд понять і позначень:

$\bar{\Psi} = \langle \gamma, \eta, \vartheta \rangle$ ,  $\bar{\dot{\Psi}} = \langle \dot{\gamma}, \dot{\eta}, \dot{\vartheta} \rangle$  – вектори кутового положення і кутової швидкості КА;

$\gamma$ , ( $\dot{\gamma}$ ),  $\eta$ , ( $\dot{\eta}$ ),  $\vartheta$ , ( $\dot{\vartheta}$ ) – кут (кутова швидкість) нишпорення, крену і тангажа;

$v$ , ( $\dot{v}$ ) – узагальнене позначення кута (кутової швидкості);

$t$  – поточний або довільний час;

$$\Phi(\Psi_1) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \Phi(v_m^{pp}) \wedge \Phi(\Delta v^{pp}) \wedge \Phi(t^{pp}) \wedge \Phi(\Delta v) \wedge \Phi(\dot{v}) \wedge \Phi(t^y) = 1; \\ \Phi(\zeta)_{\min}, \text{ якщо } 0 < \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) < 1, \zeta = \{v_m^{pp}, \Delta v^{pp}, t^{pp}, \Delta v, \dot{v}, t^y\}; \\ 0, \text{ якщо } \Phi(v_m^{pp}) \wedge \Phi(\Delta v^{pp}) \wedge \Phi(t^{pp}) \wedge \Phi(\Delta v) \wedge \Phi(\dot{v}) \wedge \Phi(t^y) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Аргументи функції (1) являють собою часткові ЛАФ і мають таке значення:

1. ЛАФ *потенційних* можливостей кутових маневрів  $\Phi(v_m^{pp})$  свідчить про *технічні можливості*

$\xi^{pp}$ ,  $\xi_z$ ,  $\xi_d$ ,  $\xi_0$ ,  $\xi_t$  – програмне, задане, допустиме, початкове, максимальне значення деякого параметра  $\xi$  (кута  $v$ , кутової швидкості  $\dot{v}$ , часу  $t$  і т.п.)

$v^f$  – кутове положення  $f$ -го об'єкта відносно надира;

$\Delta$  – абсолютна похибка, абсолютна помилка.

**Обмеження.** Для однозначного розуміння викладень приймемо, що всі кути орієнтації КА відраховуються відносно надира, причому кут крену відраховується в площині, перпендикулярній до траси (напрямку) польоту КА, кут тангажа – уздовж траси, а кут нишпорення – навколо напрямку на об'єкт спостереження. Далі в рамках однієї статті обмежимося в основному дослідженнями кутового руху КА по одному каналу, наприклад по крену. Крім того, із усіх можливих етапів кутового руху КА (заспокоєння, корекція орбіти, орієнтація на Сонце, переорієнтація, точна орієнтація і стабілізація і т.п.) виберемо для дослідження два останні як найбільш важливих для задач спостереження Землі, а саме:

програмну переорієнтацію (розворот) КА для перенацілювання поля зору БЦА з одного об'єкта на інший;

точну орієнтацію і стабілізацію КА для прецизійного наведення поля зору БЦА на обраний об'єкт.

Неважко помітити, що обрані для дослідження етапи кутового руху КА можна описати ЛАФ, які б містили:

а) максимально можливий кут переорієнтації  $v_m^{pp}$ ;

б) величину фактичних кутів переорієнтації  $v^{pp}$

і похибки їхнього відпрацювання  $\Delta v^{pp}$  при програмних розворотах КА (задача перенацілювання);

в) час  $t^{pp}$  або швидкість  $\dot{v}^{pp}$  програмного перенацілювання КА;

г) величину фактичних кутів  $v$  і погрешності прецизійної орієнтації  $\Delta v$  і стабілізації  $\Delta \dot{v} = \dot{v}$  КА (задача точного наведення або націлювання поля зору КА на об'єкт спостереження);

д) час заспокоєння КА  $t^y$  після перенацілювання і точного наведення поля зору на черговий об'єкт.

У цьому випадку *модель кутового руху* КА по одному каналу з використанням багатозначної логіки може бути подана кон'юнкцією вигляду:

СОС забезпечувати переорієнтацію поля зору КА в межах заданих кутів  $v_3^{pp}$ .

Вона може бути задана *аналітичним* виразом (рис. 1, а) такого вигляду

$$\Phi\left(v_m^{pp}\right)=\begin{cases} 1, \text{ якщо } \left|v_m^{pp}\right|=v_3^{pp}; \\ \left|v_m^{pp}\right|/v_3^{pp} \text{ якщо } 0 < \left|v_m^{pp}\right| < v_3^{pp}; \\ 0, \text{ якщо } v_m^{pp}=0. \end{cases} \quad (2)$$

2. ЛАФ *точності* програмних розворотів  $\Phi(\Delta v^{pp})$  характеризує *діапазон кутів* і абсолютні *похибки* їхнього відпрацювання СОС на етапі перенацілювання поля зору БЦА на черговий об'єкт. Якщо взяти, наприклад, лінійну модель втрат якості ЦІ від величини цих похибок, то дану функцію можна задати рис. 1, б й описати таким *аналітичним* виразом:

$$\Phi\left(\Delta v^{pp}\right)=\begin{cases} 1, \text{ якщо } \left|\Delta v^{pp}\right|=|v^{pp}-v_3|=0; \\ 1-\left|v^{pp}-v_3\right|/\Delta v_d^{pp} \text{ якщо } 0 < \left|\Delta v^{pp}\right| \leq \Delta v_d^{pp}; \\ 0, \text{ якщо } \left|\Delta v^{pp}\right|=|v^{pp}-v_3| > \Delta v_d^{pp}. \end{cases} \quad (3)$$

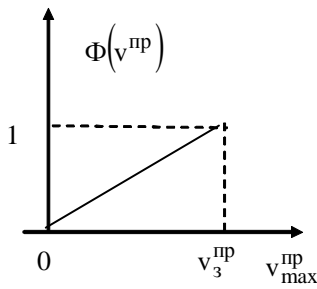
3. ЛАФ *часу (тривалості)* програмних розворотів КА  $\Phi(t^{pp})$  характеризує *швидкодію* СОС на етапі перенацілювання поля зору БЦА на черговий об'єкт. Вона при лінійному характері (рис. 1, в) може бути задана *аналітичним* виразом вигляду:

$$\Phi\left(t^{pp}\right)=\begin{cases} 1, \text{ якщо } t^{pp}=0; \\ 1-t^{pp}/t_d^{pp}, \text{ якщо } 0 < t^{pp} \leq t_d^{pp}; \\ 0, \text{ якщо } t^{pp} > t_d^{pp}. \end{cases} \quad t^{pp} \geq 0; \quad t_d^{pp} \geq 0; \quad (4)$$

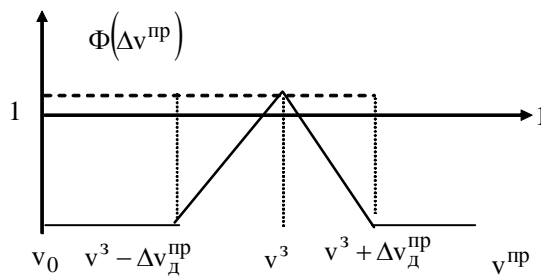
4. ЛАФ *точності* прецизійної *орієнтації* КА  $\Phi(\Delta v)$  характеризує *діапазон кутів* і абсолютні *похибки* їхнього відпрацювання СОС на етапі остаточного наведення поля зору БЦА на об'єкт спостереження для безпосередньої зйомки. Вона може бути задана функцією (3), але з меншою допускнуо областю  $\Delta v_d \ll \Delta v_d^{pp}$  (рис.2, а):

$$\Phi(\Delta v)=\begin{cases} 1, \text{ якщо } |\Delta v|=|v-v^f|=0; \\ 1-\left|v-v^f\right|/\Delta v_d, \text{ якщо } 0 < |\Delta v| \leq \Delta v_d; \\ 0, \text{ якщо } |\Delta v|=|v-v^f| > \Delta v_d; \end{cases} \quad (5)$$

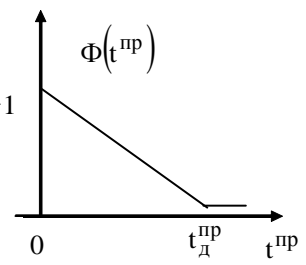
$\Delta v_d \geq 0.$



а



б



в

Рис.1. Графічна інтерпретація аналітичних виразів для етапу перенацілювання

5. ЛАФ *точності стабілізації* КА  $\Phi(\dot{v})$  свідчить про величину *абсолютної кутової швидкості* коливань корпусу КА на етапі зйомки об'єкта спостереження. Оскільки мова йде про вимогу абсолютного кутового заспокоєння КА на цьому етапі, то похибки стабілізації досить виражати через абсолютну кутову швидкість  $\dot{v}$ . У цьому випадку розглянута функція може мати вигляд (рис. 2, б):

$$\Phi(\dot{v})=\begin{cases} 1, \text{ якщо } \dot{v}=0; \\ 1-\left|\dot{v}-\dot{v}_d\right|/\dot{v}_d, \text{ якщо } 0 < \left|\dot{v}\right| \leq \dot{v}_d; \dot{v}_d \geq 0 \\ 0, \text{ якщо } \left|\dot{v}\right| > \dot{v}_d. \end{cases} \quad (6)$$

6. ЛАФ *часу (тривалості) заспокоєння* КА на етапі прецизійної орієнтації і стабілізації  $\Phi(t^y)$  характеризує якість перехідних процесів у СОС (рис. 2, в) і може разом з функцією (6) служити кількісною мірою впливу на якість ЦІ амплітуди і тривалості коливань поля зору БЦА відносно об'єкта спостереження. Її можна задати в лінійній формі виразом вигляду:

$$\Phi\left(t^y\right)=\begin{cases} 1, \text{ якщо } t^y=0; \\ 1-t^y/t_d^y, \text{ якщо } 0 < t^y \leq t_d^y; t^y \geq 0 \\ 0, \text{ якщо } t^y > t_d^y. \end{cases} \quad (7)$$

Зазначимо, що у разі необхідності у виразах (3) і (5) замість абсолютних похибок відпрацювання кутів можна застосовувати їхні відносні значення.

Таким чином, незважаючи на громіздкість формули (1), вона має досить зрозумілий фізичний зміст, оскільки поєднує всі вимоги до самої СОС і законів управління кутовим рухом КА. За необхідності кожному зі співмножників у правій частині виразу (1) можна надати певний пріоритет за допомогою вагових коефіцієнтів  $\lambda_c$ .

Однак, функція (1) зручна лише у тих випадках, коли до кожного параметра кутового руху ставляться вимоги, що виражаються двобальною шкалою "ТАК-НІ". У той же час вона недостатньо чутлива до тих ситуацій, коли одночасно *кілька* співмножників у правій частині мають проміжні значення із інтервалу  $]0, 1[$ , оскільки вона набуде значення тільки найменшого з них.

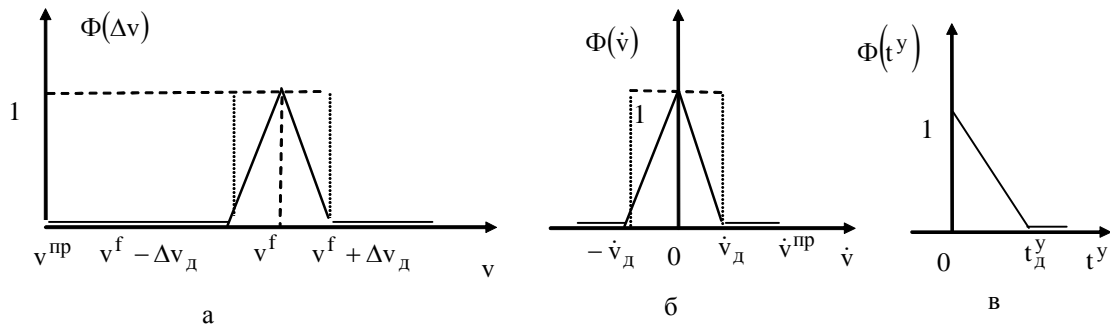


Рис. 2. Графічна інтерпретація аналітичних виразів для етапу точного націлювання

Однак, функція (1) зручна лише у тих випадках, коли до кожного параметра кутового руху ставляться вимоги, що виражаються двобальною шкалою "ТАК-НІ".

У той же час вона недостатньо чутлива до тих ситуацій, коли одночасно кілька співмножників у правій частині мають проміжні значення із інтервалу ]0, 1[, оскільки вона набуде значення тільки найменшого з них.

Більш гнучкою в даному контексті є ЛАФ якості управління кутовим рухом у вигляді, наприклад, лінійної згортки:

$$\Phi(\Psi_1^\Sigma) = \begin{cases} \sum_{\zeta=1}^5 \Phi(\zeta) / 5, & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) \neq 0; \\ 0, & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) = 0, \zeta = \{\Delta v^{np}, t^{np}, \Delta v, \dot{v}, t^y\}. \end{cases} \quad (8)$$

У цій функції замість логічного добутку застосовується середньозважена алгебраїчна сума часткових ЛАФ.

Крім того, у ній, для прикладу, упущена часткова складова (2), що має істотне значення тільки для етапу розробки СОС і є фіксованою на етапі експлуатації КА під час управління їх кутовим рухом.

Недоліком функції (8) є використання в ній часткових ЛАФ з однаковою вагою, що обмежує область її застосування. Тому доцільно ввести відповідні вагові коефіцієнти  $\lambda_\zeta$ , які відповідають умові

нормування  $\sum_{\zeta=1}^5 \lambda_\zeta = 1$ , і подати ЛАФ (8) в остаточному вигляді як:

$$\Phi(\Psi_1^\Sigma) = \begin{cases} \sum_{\zeta=1}^5 \lambda_\zeta \Phi(\zeta), & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\lambda_\zeta) \neq 0, \sum_{\zeta=1}^5 \lambda_\zeta = 1; \\ 0, & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) = 0, \zeta = \{\Delta v^{np}, t^{np}, \Delta v, \dot{v}, t^y\}. \end{cases} \quad (9)$$

За аналогією з функцією (9) можна ввести ЛАФ якості програмних розворотів:

$$\Phi(\Delta v^{np}, t^{np}) =$$

$$= \begin{cases} \sum_{\zeta=1}^2 \lambda_\zeta \Phi(\zeta), & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) \neq 0, \sum_{\zeta=1}^2 \lambda_\zeta = 1; \\ 0, & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) = 0, \zeta = \{\Delta v^{np}, t^{np}\}. \end{cases} \quad (10)$$

Ця функція є комплексною, оскільки характеризує одночасно дві якості СОС: точність і швидкодію програмних розворотів. При цьому залежно від потреб цим якостям можна надавати різні пріоритети за рахунок вагових коефіцієнтів  $\lambda_\zeta$ .

Подібним чином можна ввести ЛАФ якості прецизійної орієнтації

$$\Phi(\Delta v, t^y) =$$

$$= \begin{cases} \sum_{\zeta=1}^2 \lambda_\zeta \Phi(\zeta), & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) \neq 0, \sum_{\zeta=1}^2 \lambda_\zeta = 1; \\ 0, & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) = 0, \zeta = \{\Delta v, t^y\} \end{cases} \quad (11)$$

і ЛАФ якості прецизійної стабілізації

$$\Phi(\dot{v}, t^y) =$$

$$= \begin{cases} \sum_{\zeta=1}^2 \lambda_\zeta \Phi(\zeta), & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) \neq 0, \sum_{\zeta=1}^2 \lambda_\zeta = 1; \\ 0, & \text{якщо } \bigcap_{\zeta} \Phi(\zeta) = 0, \zeta = \{\dot{v}, t^y\}. \end{cases} \quad (12)$$

Запропонована система показників у вигляді нормованих ЛАФ досить повно характеризує якість роботи СОС. Лінійна форма цих функцій не єдина і залежить від характеру досліджень і бажань дослідника. Можна, наприклад, замість трикутних функцій (3), (5) і (6) використовувати гауссові криві, а лінійні функції (4) і (7) замінити експонентними і т.п.

Головне достоїнство отриманих результатів у тому, що вони комплексно характеризують якість роботи СОС. В остаточному результаті ця якість впливає на обсяги й якість одержуваної ЦІ в цілому.

Працездатність запропонованої логіко-аналітичної моделі кутового руху КА перевірена експериментально. Суть експерименту полягала в

перевірці можливості практичної реалізації моделі на ЕОМ і оцінюванні ступеня її адекватності і чутливості до реальних ситуацій.

За основу для моделювання обраний етап програмного перенацілювання поля зору КА типу “Січ-2 (МС-2-8)” із одного об’єкта на інший у межах заданої для нього смуги захоплення. Аналіз результатів моделювання свідчить про те, що модель адекватно реагує на виникаючі ситуації, дозволяє порівнювати якість переорієнтації різних СОС на етапі їх вибору або розробки, а також формувати закони раціонального управління кутовим рухом КА на етапі їх експлуатації.

## Висновки

1. Розроблені ЛАФ служать основою для синтезу відповідних моделей кутового руху КА, оскільки адекватно відображають процеси, що виникають в задачах наведення поля зору БЦА на об’єкти спостереження. Основне достоїнство отриманих результатів полягає в тому, що вони дозволяють комплексно описувати і досліджувати ці процеси, а отже, комплексно оцінювати, вибирати і удосконалювати бортові СОС.

2. Використання розробленої моделі в сучасних КСС дозволить раціонально управляти рухом КА відносно центру мас при вирішенні оперативних завдань в умовах обмежених ресурсів.

3. Запропонована технологія моделювання є достатньо універсальною, оскільки дозволяє аналогічно описувати процеси орбітального руху КА, технічного стану і режимів роботи бортових і наземних систем, діяльність обслуговуючого персоналу КСС, зовнішніх умов функціонування КА та інших складових, які визначають ефективність виконання цільових завдань КСС у цілому.

## Список літератури

1. Кохан С.С. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: підручник / С.С. Кохан, А.Б. Востоков. – К.: Вища школа, 2009. – 511 с.
2. Фриз С.П. Возможный подход до планирования спостережень космічними апаратами / С.П. Фриз, В.В. Петрожалко, В.В. Ожінський // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2011. – Вип. 4. – С. 87–96.
3. Буришинська Х.В. Аерокосмічні знімальні системи: навч. посібник / Х.В. Буришинська, С.А. Станкевич. – Львів: Львівська політехніка, 2010. – 292 с.
4. Разыграев А.П. Основы управления полетом космических аппаратов и кораблей / А.П. Разыграев. – М.: Машиностроение, 1977. – 469 с.
5. Павловський М.А. Системи керування обертальним рухом космічних апаратів / М.А. Павловський, В.П. Горбулін, О.М.Клименко. – К.: Наук. думка, 1997. – 196 с.
6. Попов В.И. Системы ориентации и стабилизации космических аппаратов / В.И. Попов. – М.: Машиностроение, 1977. – 149 с.
7. Бебенин Г.Г. Системы управления полетом космических аппаратов / Г.Г. Бебенин, Б.С. Скребушевский, Г.А. Соколов; под ред. Г.Г. Бебенина. – М.: Машиностроение, 1978. – 270 с.
8. Каргу Л.И. Системы угловой стабилизации космических аппаратов / Л.И. Каргу. – М.: Машиностроение, 1980. – 170 с.
9. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления / Д.А. Поспелов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.
10. Левин В.И. Логическая теория надежности сложных систем / В.И. Левин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 128 с.

Надійшла до редколегії 15.01.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.П. Манойлов, Житомирський державний технологічний університет, Житомир.

## ТЕХНОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ В ИНТЕРЕСАХ РЕШЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ ЗАДАЧ

С.П. Фриз

*Предлагается для формализации процессов, возникающих при отвороте относительно центра масс космических аппаратов (КА) наблюдения Земли, использовать специально разработанные логико-аналитические функции. Показано, что эти функции являются удобными для описания частных и комплексных пространственно-временных параметров углового движения КА на различных этапах их функционирования, в том числе и при решении оперативных задач. Предложено их использовать как для сравнительного анализа систем управления угловым движением КА, так и для оценки степени влияния характеристик этих систем на качество и объемы целевой информации космических систем наблюдения.*

**Ключевые слова:** угловое движение космических аппаратов, логико-аналитическая функция, программный разворот космического аппарата, прецизионная ориентация космического аппарата.

## SIMULATION TECHNOLOGY CORNER OF THE SPACECRAFT EARTH OBSERVATION FOR OPERATIONAL TASKS

S.P. Fryz

*It is proposed to formalize the processes occurring during lapel of the center of mass of Earth observation satellites, using a specially designed logical-analytic functions. It is shown that these functions are convenient to describe the private and complex spatio-temporal parameters of angular motion of the spacecraft in various stages of operation, including the solution of operational problems. Proposed to use for the comparative analysis of control systems of spacecraft angular motion, and to assess the degree of influence of the characteristics of these systems on the quality and quantity of targeted information space surveillance systems.*

**Keywords:** angular motion of the spacecraft, logical-analytic function, the program turn the spacecraft, precise orientation of the spacecraft.