

УДК 629.396

О.Г. Сімонова<sup>1</sup>, В.Є. Саваневич<sup>2</sup>, Г.В. Федченко<sup>1</sup><sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків<sup>2</sup>Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ТРАЕКТОРІЙ ГРУПИ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ПЕРШИХ ОБЕРТАХ ПОЛЬОТУ

Надається геометрична модель траєкторій групи космічних об'єктів в модифікованій орбітальній системі координат, що дозволяє на перших обертах польоту підвищити наочність процесу їх виявлення та взяття на супроводження.

**Ключові слова:** модифікована орбітальна система координат; класифікація векторів радіолокаційних вимірювань; наочність процесу виявлення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Введена в дію в квітні 2009 року українська Система контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО) України згідно резолюції Організації об'єднаних націй може застосовуватися для робіт в міжнародних програмах «Наземний старт» та «Морський старт». Ці програми пов'язані з одночасним виведенням на навколосемні орбіти декількох космічних апаратів. На початковому етапі їх польоту (перша пів-доба після запуску) по сукупності радіолокаційних вимірювань (РЛВ) необхідно виявити групу щойно запущених космічних об'єктів (ЩЗКО). Показники якості виявлення ЩЗКО та оперативність отримання потрібної точності оцінок параметрів їх руху [1] тим вищі, чим менші похибки класифікації РЛВ. При цьому стають важливими вимоги до мінімізації похибок їх класифікації, які залежать від вибору системи координат (СК), в якій буде проводитися класифікація РЛВ.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Класифікація вимірювань в Центрі контролю космічного простору Російської Федерації проводиться в станційній СК [2]. Проте станційна СК є нестійкою до зміни елементів орбіт космічних об'єктів (КО). Найбільш сталою є орбітальна система координат [3], але і вона не позбавлена низки недоліків. В СКАКО України в умовах обмеженої кількості вимірювальної інформації використання цих СК є скрутним. Проведений аналіз геометричних властивостей векторів РЛВ у модифікованій орбітальній системі координат (МОСК) [4] та комп'ютерне моделювання траєкторій ЩЗКО дали можливість підтвердити стійкість параметрів вимірювань від групи КО в цій СК.

**Метою статті** є використання геометричних властивостей векторів РЛВ у модифікованій орбітальній системі координат (МОСК) для забезпечення наочності процесу класифікації векторів РЛВ від групи ЩЗКО в СКАКО України.

**Постановка задачі.** В якості вимірювальної інформації використовуються радіолокаційні вимірювання – оцінка параметрів траєкторії КО в станційній СК на деякій момент часу  $t_{ni}$ , що отримана засобами спостереження контролю космічного простору. Похибки вимірювань  $y_{ni}$  розподілені за нормальним законом з нульовими середніми та заданою діагональною кореляційною матрицею [2]. При прогнозуванні параметрів руху використовується модель збуреного руху КО як матеріальної точки постійної маси без урахування руху навколо центру мас та з урахуванням збурюючих впливів [3].

Необхідно розробити наочну модель руху групи ЩЗКО в модифікованій орбітальній системі координат з урахуванням залежності параметрів траєкторій ЩЗКО, що викликана їх виведенням однією ракетою-носієм.

### Результати досліджень

**Модифікована орбітальна система координат.** Модифікована орбітальна СК (рис. 1) є модифікацією орбітальної СК [4], яка, в свою чергу, є рухомою прямокутною СК з центром в точці (на рис. 1 точка  $O_1$ ), що відповідає положенню опорного КО на зазначений момент часу. Для ЩЗКО в якості опорного КО (опорної орбіти) береться розрахункова орбіта одного з елементів запуску. В МОСК вісь  $X_{МОСК}$  розташована в площині опорної орбіти і спрямована за трансверсаллю в бік руху опорного КО. Вісь  $Y_{МОСК}$  спрямована вздовж радіус-вектора  $\overline{CO}_1$ , який визначає положення опорного КО. Вісь  $Z_{МОСК}$  доповнює прямокутну систему до правої.

Модифікація орбітальної СК полягає в тому, що початок СК та орієнтація її вісей визначається не на момент прив'язки вимірювання  $t_{ni}$ , а на момент часу, в який точка А (рис. 1), що відповідає вимірюванню  $y_{ni}$ , належить площині  $Y_{МОСК}Z_{МОСК}$  МОСК, що перпендикулярна вектору швидкості опорного КО. При цьому для кожного вимірювання положення

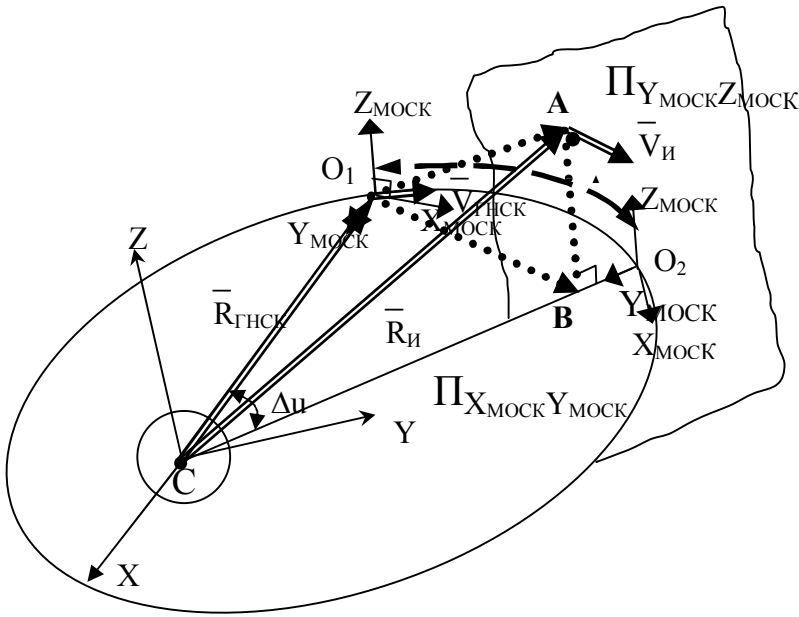


Рис. 1. Модифікована орбітальна система координат МОСК є унікальним та замість трансверсальної координати використовується певним чином введена нев'язка за часом прив'язки вимірювання [4].

**Обчислення координат КО в МОСК.** В момент часу  $t_{ni}$  опорний КО знаходиться в точці  $O_1$  (рис.1). В геоцентричній нерухомій СК (ГНСК) параметрами його руху є  $\bar{R}_{ГНСК} = \{X, Y, Z\}$  - радіус-вектор та  $\bar{V}_{ГНСК} = \{V_X, V_Y, V_Z\}$  - вектор швидкості. Вимірювання  $y_{ni}$  (на рис.1 точка А) в ГНСК містить  $\bar{R}_{и ГНСК} = \{X_{и ГНСК}, Y_{и ГНСК}, Z_{и ГНСК}\}$  - координати положення,  $\bar{V}_{и ГНСК} = \{V_{иХ}, V_{иУ}, V_{иЗ}\}$  - вектор швидкості та  $t_{ni}$  - час прив'язки вимірювання. Координатами КО в МОСК (рис. 2) є:

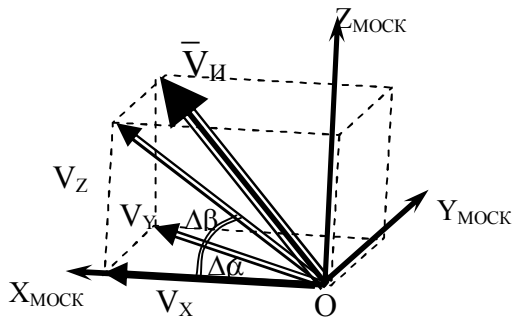


Рис. 2. Координати КО в МОСК

$\Delta Y_{МОСК}$  - координата КО за віссю  $Y_{МОСК}$ ;  $\Delta Z_{МОСК}$  - координата КО за віссю  $Z_{МОСК}$ ;  $\Delta\alpha$  - кут між проекцією вимірюваного вектора швидкості на площину опорної орбіти КО (площина  $X_{МОСК}Y_{МОСК}$ ) та віссю  $X_{МОСК}$  (рис. 2);  $\Delta\beta$  - кут між проекцією вимірюваного вектора швидкості на площину  $X_{МОСК}Z_{МОСК}$  та віссю  $X_{МОСК}$  (рис. 2);  $\Delta V$  - модуль нев'язки між швидкістю  $V_{ГНСК}$  опорного КО та швидкістю, що відповідає вимірюванню  $V_{и ГНСК}$ ;  $\Delta t$  - нев'язка за часом прив'язки вимірювання.

Фізично нев'язка за часом прив'язки вимірювання  $\Delta t$  - час, потрібний для підльоту від прогнозованого на момент прив'язки вимірювання положення опорного КО до площини  $Y_{МОСК}Z_{МОСК}$ , якій належить точка простору, що відповідає вимірюванню.

**Геометрична модель траєкторій групи космічних об'єктів в МОСК.** Теоретичні дослідження та практичний досвід [4] підтвердили стійкість МОСК. Наочність класифікації вимірювань від групи КО може бути забезпечена використанням одного параметру - нев'язки за часом прив'язки вимірювання  $\Delta t$ , яка є комплексною нев'язкою всіх компонентів опорної орбіти та вимірювання. На

змінення параметрів орбіти кожного КО групи вказують інші координати в МОСК. Так, при зменшенні (рис. 3) або збільшенні (рис. 4) нахилення площини орбіти крім  $\Delta t$  додатково змінюється координата  $\Delta Z_{МОСК}$ . При незмінному балістичному коефіцієнті траєкторії КО уздовж координат МОСК лінійні у всіх випадках.

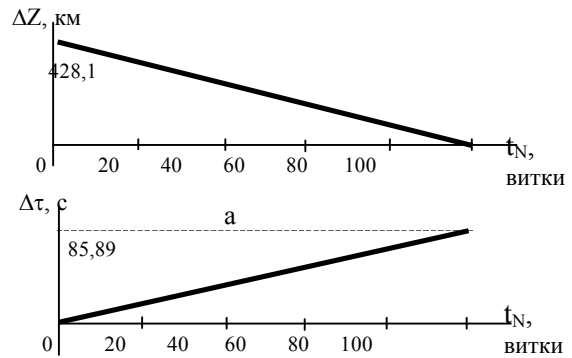


Рис. 3. Траєкторії нев'язок у МОСК при зменшенні нахилення площини орбіти

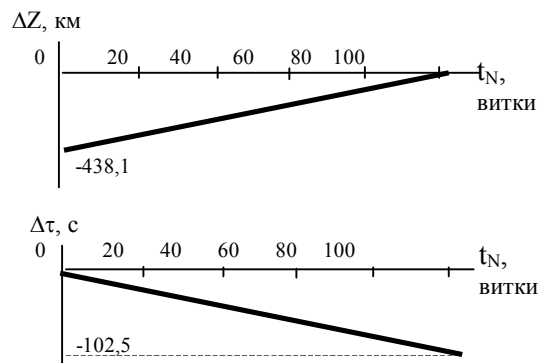


Рис. 4. Траєкторії нев'язок у МОСК при збільшенні нахилення площини орбіти

При цьому існує залежність між параметрами траєкторій групи КО, що виведені однією ракетоносієм. Модель траєкторій групи КО уздовж нев'язки

за часом прив'язки вимірювання визначається як лінійна з однаковим початковим положенням:

$$\begin{cases} \Delta\tau_1 = \Delta\tau_{01} + \Delta t \cdot \Delta\dot{\tau}_1, \\ \dots\dots\dots \\ \Delta\tau_j = \Delta\tau_{0j} + \Delta t \cdot \Delta\dot{\tau}_j, \\ \dots\dots\dots \\ \Delta\tau_Q = \Delta\tau_{0Q} + \Delta t \cdot \Delta\dot{\tau}_Q, \end{cases}$$

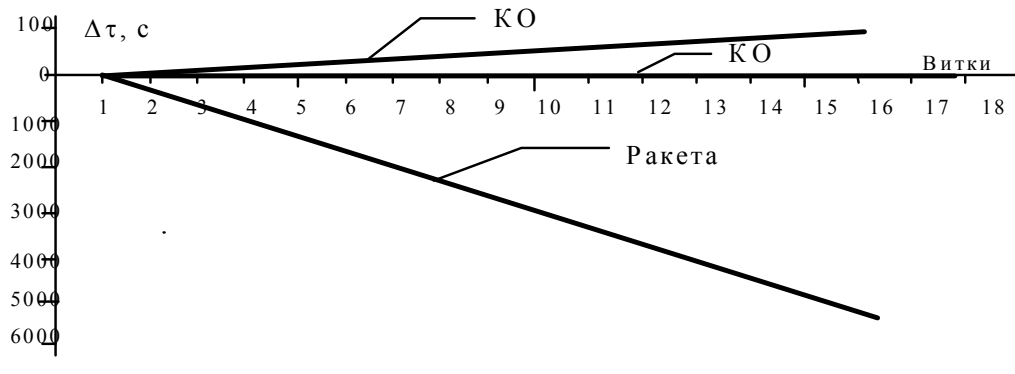


Рис. 5. Траєкторії ЦЗКО в МОСК у першу добу польоту (група з трьох КО)

Наочність розробленого методу класифікації векторів РЛВ дозволила (при використанні тільки засобів спостереження СКАКО) зменшити в два рази час визначення параметрів орбіт КО, виведених однією РН, в порівнянні до методу класифікації, що використовує Система контролю космічного простору Російської Федерації. Зменшення часу виявлення досягнуто за рахунок збільшення достовірності внутрішньогрупової класифікації векторів РЛВ.

### Висновки

Модель траєкторій групи КО в МОСК при відомому балістичному коефіцієнті є лінійною з однаковим початковим положенням. Запропонована модель має суттєву практичну значимість для забезпечення наочності класифікації вимірювань від групи КО та виявлення групи КО в цілому. Єдиною координатою, що оцінюється, признана нев'язка за часом прив'язки вимірювань, яка має чіткий фізичний зміст та містить всі внутрішньогрупові відмінності відмінності концентровані в інших параметрах вимірювань у МОСК.

### ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРАЕКТОРИЙ ГРУППЫ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ПЕРВЫХ ВИТКАХ ПОЛЕТА

О.Г. Симонова, В.Е. Саваневич, А.В. Федченко

*Предоставляется геометрическая модель траекторий группы космических объектов в модифицированной орбитальной системе координат, позволяющая на первых витках полета повысить наглядность процесса их обнаружения и взятия на сопровождение.*

**Ключевые слова:** модифицирована орбитальная система координат; классификация векторов радиолокационных измерений; наглядность процесса выявления.

### THE GEOMETRIC MODEL OF THE TRAJECTORIES OF SPACE OBJECTS ON THE FIRST CIRCUIT FLIGHT

O.G. Simonova, V.E. Savanevish, A.V. Fedchenko

*Given a geometric model of the trajectories of space objects in the modified-term orbital frame, allowing the first turns of the flight to increase the visibility of the process of detecting and taking on maintenance.*

**Keywords:** the orbital system of co-ordinates is modified; classification of vectors of the radiolocalization measurements; evidentness of process of exposure.

де  $\Delta\tau_{01} = \dots = \Delta\tau_{0j} = \dots = \Delta\tau_{0Q} = \Delta\tau_0$  - початкове значення нев'язки за часом прив'язки вимірювання,  $\Delta t$  - час після старту;  $\Delta\dot{\tau}_j$  - швидкість змінення часу після старту для j-го об'єкта; Q - кількість КО, що входять до групи, виведеної однією ракетою-носієм.

На рис. 5 наведений приклад траєкторій групи з трьох КО вдовж нев'язки за часом прив'язки вимірювань в МОСК на перших обертах польоту.

### Список літератури

1. Ткаченко А.А. Повышение оперативности взятия на сопровождение низкоорбитального космического объекта в Национальной системе контроля и анализа космической обстановки / А.А. Ткаченко, В.А. Кочура, Д.Б. Жуйков, А.В. Поляков // Системи управління, навігації та зв'язку. - К.: ЦНДІ НУ, 2010. - Вип. 3 (15). - С. 51-53.
2. Хуторовский З.Н. Ведение каталога космических объектов / З.Н. Хуторовский // Космические исследования. - 1993. - Вып. 4, т. 31. - С. 101 - 114.
3. Иванов Н.М. Баллистика и навигация космических аппаратов / Н.М. Иванов, Л.Н. Лысенко. - М.: Дрофа, 2004. - 544 с.
4. Ямницкий В.А. Свойства совокупности радиолокационных измерений в модифицированной орбитальной системе координат / В.А. Ямницкий, О.Г. Симонова, В.Е. Саваневич // Системи обробки інформації. - Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2004. - Вип. 7 (35). - С. 230 - 237.

Надійшла до редколегії 15.04.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.Ю. Ніцин, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.