

Г. М. Розорінов, Масуд Махджубіан

СУЧАСНІ ЦИФРОВІ НАГРОМАДЖУВАЧІ НА МАГНІТНІЙ СТРИЧЦІ — ДІТИЩЕ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Упровадження оптичних і нанотехнологій у виготовлення нагромаджувачів на магнітній стрічці дозволило істотно поліпшити їхні експлуатаційні характеристики та зміцнити позиції таких нагромаджувачів у ієрархічній структурі запам'ятовувальних пристроїв великої ємності. Хоч як це парадоксально, але зниження вартості жорстких дисків і розвиток конкурентних методів зберігання інформації (магнітооптика, CD, DVD, Flash тощо) лише стимулювало роботу з удосконалення нагромаджувачів на магнітній стрічці, і вони, як і раніше, залишаються найкращим вирішенням для зберігання великих обсягів даних.

Ключові слова: магнітна стрічка; поверхнева щільність запису; цифрові нагромаджувачі, формати запису; нанотехнології.

G. N. Rozorinov, Masoud Mahjoubian

MODERN DIGITAL STORES ON MAGNETIC TAPE — BRAINCHILD OF NANOTECHNOLOGIES

An optical and nanotechnologies introduction in making of stores on a magnetic tape allowed substantially to improve their operating descriptions and infix the positions in the hierarchical structure of large capacity data storages. However paradoxical it is, but decline of cost of hard disks and development of competition methods of information storage (magneto-optics, CD, DVD, Flash and so on), only stimulated work on perfection of magnetic tape stores and they still remain the best decision for storage of large volumes of information.

Keywords: magnetic tape; surface bit density; digital stores; formats of recording; nanotechnologies.

УДК 681.518.2

О. В. ШУЛЬГА, канд. техн. наук, доцент,

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ: ПРИНЦИПИ РЕАЛІЗАЦІЇ НАЗЕМНИХ РТС ДЛЯ ЗАВДАНЬ УПРАВЛІННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Проаналізовано особливості систем ідентифікації космічних апаратів (КА) і розглянуто класифікацію сучасних комплексів ідентифікації КА, які реалізують головне завдання ідентифікації — максимально ефективно використання здобутої інформації. Визначено перспективний напрямок радіоінтерферометричного вимірювання космічних об'єктів із застосуванням сигналів неконтрольованих випромінювань бортової апаратури, що несуть траєкторну та ідентифікаційну інформацію про КА.

Ключові слова: космічний апарат; наземний автоматизований комплекс управління; система контролю та аналізу космічної обстановки; ідентифікація; наземна РТС; канал зв'язку; зона видимості.

Вступ

Особливості географічного положення та територіальні обмеження визначили необхідність використання в наземному автоматизованому комплексі управління (НАКУ) однопунктової технології управління космічними апаратами (КА), згідно з якою завдання ідентифікації космічних об'єктів, що перебувають у зоні видимості радіотехнічних систем (РТС), стає актуальною. Значні витрати на побудову окремої системи для розв'язання цього завдання спонукають створювати апаратні засоби ідентифікації КА, до складу яких з метою забезпечення управління КА залучаються наземні РТС [16; 36; 100].

Дослідження напрямків підвищення якості функціонування систем контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО) передбачає розгляд завдань балістично-навігаційного забезпечення управління КА, а також ідентифікації КА, що містяться в зоні видимості використовуваної РТС.

При розв'язанні завдань, що стосуються забезпечення програми польоту КА, необхідно із Землі постійно вимірювати параметри їхнього руху. Традиційно ці завдання покладено на траєкторні

засоби РТС наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами.

Мета статті — проаналізувати сучасні методи ідентифікації КА, посилення контролю космічного простору та аналізу космічної обстановки.

Основна частина

Розглянемо класифікацію сучасних комплексів ідентифікації КА (рис. 1) [1].

Аналіз літератури показав, що перевага лазерних і оптичних систем полягає в забезпеченні великої дальності дії, високої роздільної здатності та точності вимірювання координат, із прихованістю в роботі і практичною несприйнятністю щодо різного виду організованих перешкод. Утім залежність від метеоумов роботи та часу доби не дозволяє забезпечувати постійний контроль космічного простору [2; 3].

Існуючі спеціалізовані радіолокаційні системи характеризуються порівняно низькою прихованістю та оперативністю обробки отримуваної інформації. Вони здатні обслуговувати фіксовані зони простору, що призводить до появи так званих дір у полі контролю.



Рис. 1. Класифікація комплексів ідентифікації КА

За таких умов одне з головних завдань ідентифікації — якнайповніше використати здобуту інформацію.

Активні і пасивні радіолокаційні системи обмежено застосовні щодо завдань ідентифікації КА, оскільки придатні лише для виявлення так званих активних космічних об'єктів [4; 5].

Ідентифікація активних КА, тобто КА з такими передавальними пристроями, що працюють під час прольоту в зоні видимості РТС, не є складним завданням [5]. Проте для більшості космічних систем оборонного призначення однією з важливих характеристик їхнього функціонування є прихованість, що припускає, передусім, відімкнення бортових передавальних пристроїв КА поза зоною видимості РТС. Ця обставина значно ускладнює ідентифікацію таких КА.

На підставі проведеного аналізу вважаємо за доцільне розробити систему ідентифікації, яка дозволить підвищити якість функціонування системи контролю космічного простору.

В основу такої системи ідентифікації може бути покладено наземну РТС із повноповоротними антенними пристроями. Такий підхід уможливить створення системи з відомими параметрами, забезпечивши незалежне від метеоумов фіксування КА з усіх напрямків прольоту.

Як параметри ідентифікації можна розглядати прийом і обробку сигналів паразитного випромінювання блоків бортової апаратури (БА), що постійно функціонують.

Для цього необхідно оцінити можливість прийому зазначених сигналів. Згідно з рівнянням радіолокації [3] маємо:

$$P_c = \frac{P_{\Pi} G_{\Pi}}{4\pi H^2} A = \frac{Q_{\Pi} A}{4\pi H^2}, \quad (1)$$

де P_c — потужність прийнятого радіосигналу, Вт; A — ефективна площа антени (АЕ) наземної системи; P_{Π} — потужність випромінюваного радіосигналу, Вт; G_{Π} — коефіцієнт посилення бортової апаратури; H — висота орбіти КА, км; Q_{Π} — коефіцієнт космічного апарата, $Q_{\Pi} = P_{\Pi} G_{\Pi}$.

Відомості щодо ефективної площі антенних засобів для різних діапазонів хвиль наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Ефективна площа антенних пристроїв технічних комплексів НКУ

| Антенні засоби | Діапазон хвиль | АЕ, м ² |
|----------------|----------------|--------------------|
| АДУ-1000 | ДМ суміщений | 900 |
| | ДМ | 650 |
| | СМ | 450 |
| РТ-32 | ДМ | 422 |
| | СМ | 407 |
| РТ-70 | 18 см | 2450 |
| | 6 см | 2800 |
| | 5 см | 2750 |
| | 3,55 см | 2450 |
| | 1,35 см | 1700 |
| | 0,82 см | 850 |

Зауважимо, що основне угруповання КА розміщено на висоті від 200 до 40 000 км [3]. При цьому значення потужності паразитного випромінювання БА становить близько $1,2 \cdot 10^{-5}$ Вт, а коефіцієнт посилення бортової антени 1000 [4]. З огляду на сказане, скориставшись (1), дістанемо значення висоти орбіти ідентифікованого КА для наземних систем із різною ефективною площею антенних пристроїв (рис. 2).

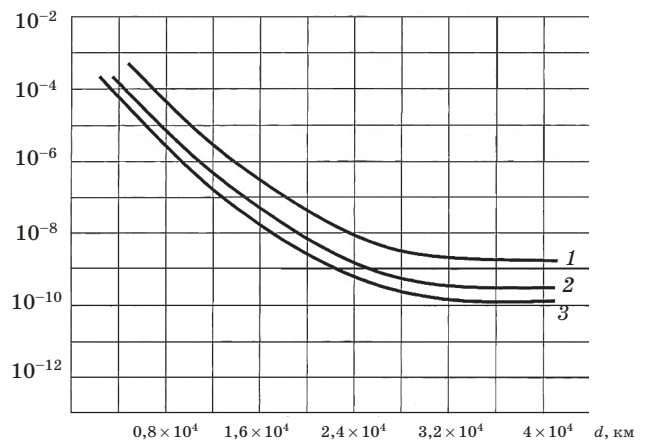


Рис. 2. Криві, що характеризують залежність висоти орбіт ідентифікованих КА для наземних антенних систем із різною ефективною площею антен: 1 — АЕ = 2500 м²; 2 — АЕ = 1000 м²; 3 — АЕ = 400 м²

Аналізуючи характеристики існуючих технічних систем, наведених у табл. 1, доходимо висновку про можливість використання застосовуваних у цих системах антенних пристроїв для ідентифікації КА.

Отже, проведені дослідження можна покласти в основу створення системи ідентифікації КА.

Застосування здобутих результатів особливо актуальне в наземних РТС однопунктового управління та ідентифікації КА.

Як уже зазначалося, для реалізації програми польоту КА необхідно із Землі постійно вимірювати параметри його руху. Традиційно ці завдання розв'язують за допомогою системи, функціональну схему якої зображено на рис. 3 [5]. При цьому визначення поточних значень координат і складових вектора швидкості КА із подальшою обробкою для отримання необхідної інформації про рух цього КА відбувається під час його прольоту в зоні видимості РТС. Параметри руху КА визначаються протягом сеансу управління (СУ) за рахунок часу, необхідного для інших режимів функціонування КА при суміщеній РТС [1].

Час сеансу управління

$$t_{\text{СУ}} = t_{\text{ТВ}} + t_{\text{ТМІ}} + t_{\text{СІ}} + t_{\text{ВІД}}, \quad (2)$$

де $t_{\text{ТВ}}$ — часовий інтервал траєкторних вимірювань. При цьому відомо, що $t_{\text{СУ}} \approx t_{\text{В}} \approx t_{\text{ТВ}}$; $t_{\text{ТМІ}}$ — часовий інтервал прийому телеметричної інформації про стан БА КА; $t_{\text{СІ}}$ — часовий інтервал прийому спеціальної (наукової) інформації за функціональним призначенням КА; $t_{\text{ВІД}}$ — часовий інтер-

вал видачі на борт команд і тимчасових програм прийому з борту квитанцій про проходження цих програм і команд.

Розрізняють траєкторні засоби (ТЗ) РТС НКУ вимірювання параметрів руху навколосемних і міжпланетних КА. Відповідні системи включають у себе апаратуру, установлену на борту КА, і наземну вимірювальну апаратуру. Також можливе створення системи ідентифікації для виявлення й стеження за невідомими та «мовчазними» КА. Така система має тільки наземну вимірювальну апаратуру і працює за принципом звичайних радіолокаційних систем.

За допомогою ТЗ РТС визначають: дальність d до КА, кутові координати — азимут α і кут місця β , швидкість \dot{d} зміни дальності, радіальну швидкість $\dot{\alpha}$ і швидкість $\dot{\beta}$ зміни кутових координат (кутову швидкість). При цьому дальність дії ТЗ визначається залежно від типу КС і може становити від сотень кілометрів до сотень мільйонів кілометрів. Необхідна дальність дії забезпечується встановленням на борту КА приймачів-передавачів, що мають потужність випромінювання 0,25...50 Вт і чутливість 10^{-7} ... 10^{-10} Вт [4]; використанням наземних передавачів із потужністю в імпульсі до 10 МВт, а при безперервному режимі

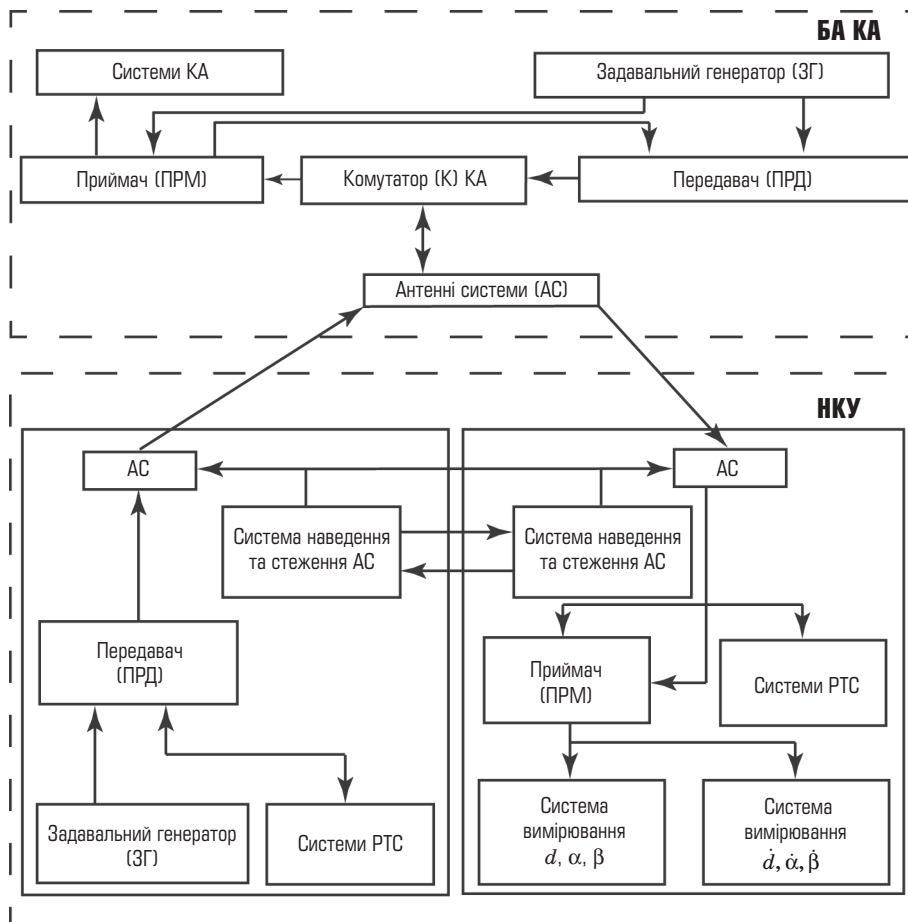


Рис. 3. Функціональна схема траєкторних засобів РТС НАКУ КА

випромінювання — до 100 кВт [2]; збільшенням чутливості наземних приймальних пристроїв; використанням гостронаправлених АС НВЧ і КВЧ діапазонів частот; підвищенням завадостійкості всієї РТС.

Один із методів зниження похибки вимірювань РТС полягає в оцінюванні взаємного розташування траєкторних засобів НКУ КА. Традиційно ці засоби входять у суміщені командно-траєкторні радіолінії РТС, що виконують сеанс управління КА за час $t_{\text{СУ}}$. При цьому для траєкторних вимірювань РТС у складі НКУ КА мають бути географічно рознесені на якнайбільшу відстань.

Для вимірювання кутових швидкостей існуючі траєкторні засоби використовують не менш як три вимірювальні пункти, що утворюють при своєму розміщенні два взаємно перпендикулярні напрями. Кутові швидкості за азимутом і кутом місця визначаються відповідно за такими формулами:

$$\dot{\alpha} = \frac{c(\Delta f'_D - \Delta f_D)}{f_0 b \sin \alpha}, \quad (3)$$

$$\dot{\beta} = \frac{c(\Delta f'_D - \Delta f_D)}{f_0 b \sin \beta}, \quad (4)$$

де $(\Delta f'_D - \Delta f_D)$ — різниця частот Доплера, прийнятих двома пунктами; c — швидкість світла.

Для вимірювання дальності d і кутових координат β положення КА в існуючих КС активно використовується фазометричний метод. Щодо траєкторних засобів РТС застосування цього методу спирається на вимірювання зсуву фаз $\Delta\phi$ двох інтерферуючих хвиль, пропорційного до різниці Δd пройдених відстаней:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta d, \quad (5)$$

де λ — довжина використовуваної радіохвилі; Δd — різниця пройдених радіохвилями відстаней.

У далекомірних системах РТС різниця фаз $\Delta\phi$ пропорційна до відстані до КА, а в системах виміру кутових координат — до умовного положення КА. Різниця фаз може бути однозначно виміряна лише на проміжку від 0 до 2π . Вимірювання різниці фаз у великих межах призводить до неоднозначності у вимірах, яку доводиться усувати різними методами.

Для визначення дальності до КА по радіолінії Земля — КА у відомих КА [4] надсилається сигнал запиту. Цей сигнал на борту КА ретранслюється і випромінюється на Землю. Залежно від різниці фаз прийнятого сигналу щодо сигналу запиту відстань до КА набирає вигляду [5]

$$d = \frac{\Delta\phi\lambda}{4\pi}. \quad (6)$$

При вимірюванні кутових координат сигнал бортового передавача приймається одночасно не менш як двома наземними пунктами, рознесені-

ми у просторі один від одного на відстань b . Визначивши різницю фаз сигналів, прийнятих цими пунктами, можна обчислити напрям на КА за формулою [5]

$$\beta = \arccos \frac{\Delta\phi\lambda}{2\pi b}. \quad (7)$$

Нині для розв'язання завдання синхронізації з гранично високою точністю поряд із методами РНДБ використовують три методи. Перший передбачає застосування навігаційних супутникових систем ГЛОНАСС і GPS, другий — ретрансляцію синхронізованих сигналів через геостаціонарні супутники зв'язку (*дуплексний метод*), а третій — обмін лазерними сигналами через спеціальні відбивачі, установлені на геостаціонарні супутники (метод *LASSO — Lazer Synhronization from Stationaiy Orbit*).

Перевагами систем типу GPS є низька вартість апаратури користувача (за надзвичайно високої вартості космічного сегмента), глобальне охоплення та практично необмежена кількість користувачів. До недоліків слід віднести залежність точності зв'язки від відстані між пунктами, а також те, що висока точність може бути досягнута в результаті обробки інформації великої кількості спостережень.

Потенційно одним із найбільш точних методів порівняння шкал часу є метод *LASSO* [4]. Проте він вимагає обладнання геостаціонарних КА спеціальними оптичними відбивачами і дуже дорогого наземного устаткування. Окрім того, застосування цього методу обмежене погодними умовами, через що він не набув широкого практичного застосування.

Дуплексний метод синхронізації по супутниковому каналу забезпечує високу точність, яка досягається в процесі вимірювань і не залежить від відстані між пунктами, що підлягають зв'язці. Цей метод придатний для будь-якої погоди. Недолік дуплексного методу полягає в необхідності організації каналу супутникового зв'язку, що, у свою чергу, потребує великих витрат на придбання земних станцій супутникового зв'язку. Утім цей недолік ефективно усувається завдяки вдосконаленню космічних ретрансляторів і можливості використовувати земні станції малої потужності [3].

Розвиток дуплексного методу особливо вигідний для траєкторних систем РСДБ, коли роль одного з пунктів вимірювання відіграє бортовий РТС опорного КА, що перебуває на геостаціонарній орбіті та поєднує функції космічного ретранслятора, а роль другого пункту вимірів покладається на відповідним чином обладнаний наземний РТС.

Переваги дуплексного методу підтверджуються порівняльним аналізом існуючих методів синхронізації (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняльні характеристики методів синхронізації

| Метод | Точність | Покриття |
|-------------------|----------|-----------------------|
| GPS (common-view) | 10 | Глобальне |
| GPS | 50 | Глобальне |
| LASSO | 1 | Залежно від супутника |
| Дуплексний | 1 | Глобальне |

Зауважимо, що однопунктова технологія управління КА значно знижує точність траєкторних вимірювань РТС і оперативність обробки інформації стосовно просторово-часового положення КА. З огляду на це доцільно застосовувати просторово рознесені засоби з однією наземною РТС. Як траєкторні системи можуть використовуватися радіоастрономічні системи. Зокрема, перспективним напрямком при цьому можуть бути радіоінтерферометричні вимірювання космічних об'єктів із залученням сигналів неконтрольованих випромінювань бортової апаратури, що несуть траєкторну та ідентифікаційну інформацію про КА.

Таким чином, оцінюючи застосовність відомих способів функціонування існуючих НКУ КА, доходимо висновку про необхідність розвитку методології створення перспективних КС на базі досліджень нелінійних процесів у РТС, що використовують для однопунктової побудови НКУ радіоінтерферометричні методи БНО управління КА та ідентифікують КА, що перебувають у зоні видимості цих РТС, за рахунок прийому та обробки неконтрольованих випромінювань бортової апаратури.

Висновки

Здійснено аналіз і класифікацію сучасних комплексів ідентифікації КА як кроки, спрямовані на розробку системи ідентифікації, що дасть змогу підвищити якість функціонування системи контролю космічного простору.

О. В. Шульга

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ НАЗЕМНЫХ РТС ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИИ

Проанализированы особенности систем идентификации космических аппаратов (КА) и рассмотрено классификацию современных комплексов идентификации КА, которые определяют основную задачу идентификации — максимальное использование полученной информации. Определено перспективное направление радиоинтерферометрических измерений космических объектов с использованием сигналов неконтролируемых излучений бортовой аппаратуры, несущих траекторную и идентификационную информацию о КА.

Ключевые слова: космический аппарат; наземный автоматизированный комплекс управления; система контроля и анализа космической обстановки; идентификация; наземная РТС; канал связи; зона видимости.

O. V. Shulga

SPACECRAFT IDENTIFICATION SYSTEMS FEATURES AND GROUND RTS IMPLEMENTATION PRINCIPLES FOR MANAGEMENT AND IDENTIFICATION PROBLEMS

Spacecraft (SC) systems identification features analyzed and modern spacecraft identification complexes classification which define basic identification problem — obtained information maximum using. Space objects radiointerferometric measurement perspective directions using onboard equipment uncontrolled radiation signals which carrying spacecraft trajectory and identity defined.

Keywords: spacecraft; ground automated control complex; outer space monitoring and analysis system; identification; ground RTS; communication channel; visibility range.

Основою такої системи ідентифікації може слугувати наземна РТС із повноповоротними антенними пристроями.

Пропонований підхід дозволить створити систему з відомими параметрами, забезпечивши метеонезалежне фіксування КА з усіх напрямів прольоту.

Описано також напрямки підвищення якості функціонування СКАКО, підходи до визначення траєкторного засобу вимірювання параметрів руху навколосемних і міжпланетних КА на базі апаратури, установленної на борту КА, і наземної вимірювальної апаратури.

Роль відповідних траєкторних систем можуть відігравати радіоастрономічні системи. Перспективним напрямком при цьому можуть стати радіоінтерферометричні вимірювання космічних об'єктів із використанням сигналів неконтрольованих випромінювань бортової апаратури, які несуть траєкторну та ідентифікаційну інформацію про КА.

Література

1. Кремер, И. Я. Пространственно-временная обработка сигналов / [И. Я. Кремер, В. М. Петров и др.].— М.: Радио и связь, 1984.— 224 с.
2. Фалькович, С. Е. Оценка параметров сигнала / С. Е. Фалькович.— М.: Сов. радио, 1970.— 336 с.
3. Стогов, Г. В. Статистическая обработка результатов измерений по неполной выборке / Г. В. Стогов, А. В. Макшанов, А. А. Мусаев // Зарубежная радиоэлектроника. — 1979. — № 10. — С. 3–21.
4. Фалькович, С. Е. Статистическая теория измерительных радиосистем / С. Е. Фалькович, Э. Н. Хомяков. — М.: Радио и связь, 1981.— 288 с.
5. Аверьянов, В. Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы / В. Я. Аверьянов. — Минск: Наука и техника, 1978.— 182 с.