

УДК 621.396

О.Л. Поляков<sup>1</sup>, О.М. Богдановський<sup>2</sup>, О.О. Моргун<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національна академія оборони України, Київ

<sup>2</sup>Центр прийому наукової інформації, Євпаторія

<sup>3</sup>Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, Київ

## АЛГОРИТМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ПО НЕКОНТРОЛЬОВАНИХ ВИПРОМІНЮВАННЯХ БОРТОВОЇ АПАРАТУРИ

*Завдання ідентифікації космічних апаратів (КА), полягає в їх розпізнаванні і виявленні цільового призначення. Як показники, що ідентифікуються, при цьому доцільно використовувати випромінювання постійно функціонуючих блоків бортової апаратури (БА). Внаслідок чого, у статті розглянутий один з підходів до розпізнавання космічних об'єктів по неконтрольованому випромінюванню (НКВ) космічного об'єкта (КО).*

*космічний апарат, бортова апаратура, неконтрольоване випромінювання*

### Вступ

В умовах малопунктної мережі вимірювальних засобів рішення задачі контролю і прогнозу руху НО, на основі ідентифікації їх по неконтрольованих випромінюваннях набуває особливої актуальності. Практика показала, що із збільшенням кількості космічних об'єктів високоточних відомостей про параметри орбіт недостатньо для виконання завдань контролю і аналізу космічної обстановки [1, 2].

У зв'язку з цим представляється доцільним проведення додаткового пошуку критеріїв, які можуть підтвердити достовірність інформації.

**Постановка проблеми.** Основними, стимулюючими розвиток методів розпізнавання КО по НКВ, є те, що це завдання відноситься до так званого класу зворотних завдань, тобто не має універсального. Враховуючи наявність унікальних радіотехнічних систем (РТС) у складі технічних засобів наземного контуру управління, представляється доцільним розробити алгоритм ідентифікації КО за ознакою динаміки зміни характеру коливань гетеродинів бортової апаратури.

**Аналіз літератури.** Проведений аналіз джерел інформації [1 – 11] показав, що оскільки НКВ гетеродинів є гармонійними коливаннями, то параметрами даних сигналів є амплітуда, частота і початкова фаза [11]. Для вирішення завдання ідентифікації космічних об'єктів використовується контроль випромінювань бортової апаратури, а саме частоти коливань задаючих генераторів (ЗГ).

**Метою статті** є розробка способу ідентифікації космічних об'єктів по неконтрольованому випромінюванню.

**Розділ основного матеріалу.** Проведення ідентифікації космічних апаратів по НКВ гетеродинів приймального тракту і задаючих генераторів має на увазі аналіз характеру зміни параметрів коливань гетеродинів і виділення ознак, що відрізняють коли-

вання одного генератора від іншого. Використання для цілей ідентифікації амплітуди сигналу і початкової фази не представляється можливим, оскільки на дані параметри сильно впливає середовище розповсюдження [11]. Найбільш інформативною для ідентифікації є частота коливання, а точніше, характер зміни частоти в часі. Така зміна пов'язана з нестабільністю частоти бортових задаючих генераторів. Характер зміни частоти залежить від поєземлярних особливостей кожного бортового генератора [11], що і є основою ідентифікації.

Розглянемо характеристики процесу нестабільності ЗГ КО і виділимо складові процесу, що представляють інтерес з погляду ідентифікації.

Перш за все, проведемо аналіз характеристик нестабільності частоти НКВ. Задаючий генератор КО забезпечує формування коливань, які після множення є опорними для гетеродинів приймального тракту. Нестабільність визначається [5] величиною

$$\varepsilon_f = \frac{f_r(t+T) - f_r(t)}{f_0} = \frac{\Delta f_{rT}}{f_0},$$

де  $f_{rT}$  – зміна частоти генератора

$f_0$  – номінальне значення частоти;

$T$  – інтервал часу між моментами вимірювання частоти

$r$  – номер інтервалу усереднювання при зміні частоти.

При цьому відносну нестабільність визначимо через фазу сигналу опорного генератора [6]. Якщо сигнал, що приймається радіотехнічною системою, представлений у вигляді

$$S(t) = E(t) \cos[2\pi f_0 t + \varphi(t)], \quad (1)$$

де  $E(t)$  – огибаюча,

то значення відносної нестабільності визначається таким чином:

$$\varepsilon_\varphi = \frac{\varphi(t+T) - \varphi(t)}{2\pi f_0 T}, \quad (2)$$

Величини  $\varepsilon_f$  і  $\varepsilon_\varphi$  зв'язані наступною залежністю

$$\varepsilon_\varphi = \int_t^{t+T} \varepsilon_f dt.$$

На практиці застосовують і спектральне визначення нестабільностей, розглядаючи щільність потужностей фази або частоти сигналу генератора. Спектральна щільність потужностей при цьому визначається виразом

$$F_\varepsilon = 4 \int_0^\infty R_\varepsilon(r) \cos(2\pi fr) dr, \quad (3)$$

де  $R_\varepsilon(r)$  – функція автокореляції.

Щільність розподілу потужності процесу нестабільності надзвичайно складно оцінити безпосередніми вимірюваннями, оскільки її складові малі в порівнянні з потужністю основної частоти, що становить [7]. Доступнішими є вимірювання тимчасових характеристик нестабільності частоти. Умовно джерела нестабільності можна класифікувати за наступними ознаками:

1. Систематичні зміни частоти, викликані старінням матеріалу резонатора (довготривала нестабільність).

2. Детерміновані періодичні відхилення.

3. Зміни частоти за рахунок випадкових функцій, обумовлені застосуванням в апаратурі електронних компонентів (короткочасна нестабільність).

Розглянемо генератор як "чорний ящик", без детального аналізу його внутрішньої структури.

Залежність середньоквадратичного відхилення нестабільності частоти  $\sigma_\varepsilon$  від часу усереднювання містить дві зони: "короткочасної" і "довготривалої" нестабільності. Основна причина "довготривалої" нестабільності – старіння елементів кварцевих генераторів. Рівень шумів, викликаних цим старінням, на порядок і більш перевершує рівень шумів, викликаних "короткочасною" нестабільністю, яка обумовлена флуктуаційними перешкодами внутрішнього (всередині петлі генератора) і зовнішнього походження. До перешкод відносяться також наведення напруги живлення і його гармонік. При цьому флуктуаційні перешкоди можна вважати розподіленими по нормальному закону.

Вхідний сигнал опорного генератора можна записати у вигляді:

$$S(t) = [E + a(t)] \sin[2\pi f_0 + \varphi(t)], \quad (4)$$

де  $a(t)$  – випадковий процес, що описує флуктуації амплітуди.

У реальних генераторах флуктуаціями амплітуди можна нехтувати, оскільки основний внесок в нестабільність вносять фазові і частотні складові. Тоді вираз (4) можна спростити

$$S(t) = E \sin[2\pi f_0 t + \varphi(t)].$$

Припустимо, що нестабільність опорного генератора ("довготривала" і "короткочасна") характеризується функцією  $\varphi(t)$ . Позначимо "довготривалу" нестабільність, "короткочасну"  $\varphi_K(t)$ . Тоді

$$\varphi(t) = \varphi_D(t) + \varphi_K(t).$$

Найбільш важливо прогнозування "довготривалих" складових нестабільностей, оскільки вони вносять основний внесок в нестабільність частоти опорного генератора. Тому для процесу ідентифікації "довготривала" складова умовно вважається "корисною", а "короткочасна"  $\varphi_K(t)$  такою, що "заважає".

Виходячи з проведеного вище аналізу математичних моделей нестабільності бортових генераторів ідентифікацію космічних апаратів доцільно проводити у відповідності з наведеним на рис. 1 алгоритмом. Програмно-алгоритмічним комплексом центру контролю та аналізу космічної обстановки проводяться розрахунки цільових вказівок для радіотехнічних засобів з метою орієнтування антенних систем згідно з початковими умовами руху космічного апарата, відповідно даними головного каталогу космічних об'єктів (ГККО).

Програмно-алгоритмічним комплексом центру контролю та аналізу космічної обстановки проводяться розрахунки цільових вказівок для радіотехнічних засобів з метою орієнтування антенних систем згідно з початковими умовами руху космічного апарата, відповідно даними головного каталогу космічних об'єктів (ГККО). У разі прийому неконтрольованого випромінювання визначаються його параметри, якщо сигналі НКВ не визначається, вимірювання повторюються на наступному витку.

Після визначення параметрів НКВ інформація з радіотехнічних засобів надходить до в центр контролю та аналізу космічної обстановки де проводиться її ототожнення з даними ГККО. У разі наявності ототожнення дані вимірювання вважаються ідентифікованими і робиться висновок про тип космічного апарата. У тому разі, коли дані вимірювань не ототожнюються з інформацією ГККО здійснюється моделювання джерела неконтрольованого випромінювання та результати моделювання враховуються в ГККО для подальшого використання.

## Висновки

Таким чином, розроблений алгоритм ідентифікації космічних апаратів, який ґрунтується на аналізі неконтрольованих випромінювань бортової апаратури космічних апаратів. Даний алгоритм доцільно використовувати для контролю аналізу космічної обстановки в умовах однопунктової технології управління з метою підвищення якості функціонування системи, достовірності інформації про НО, а також у разі виявлення та взяття на супровід не каталогізованих космічних об'єктів.

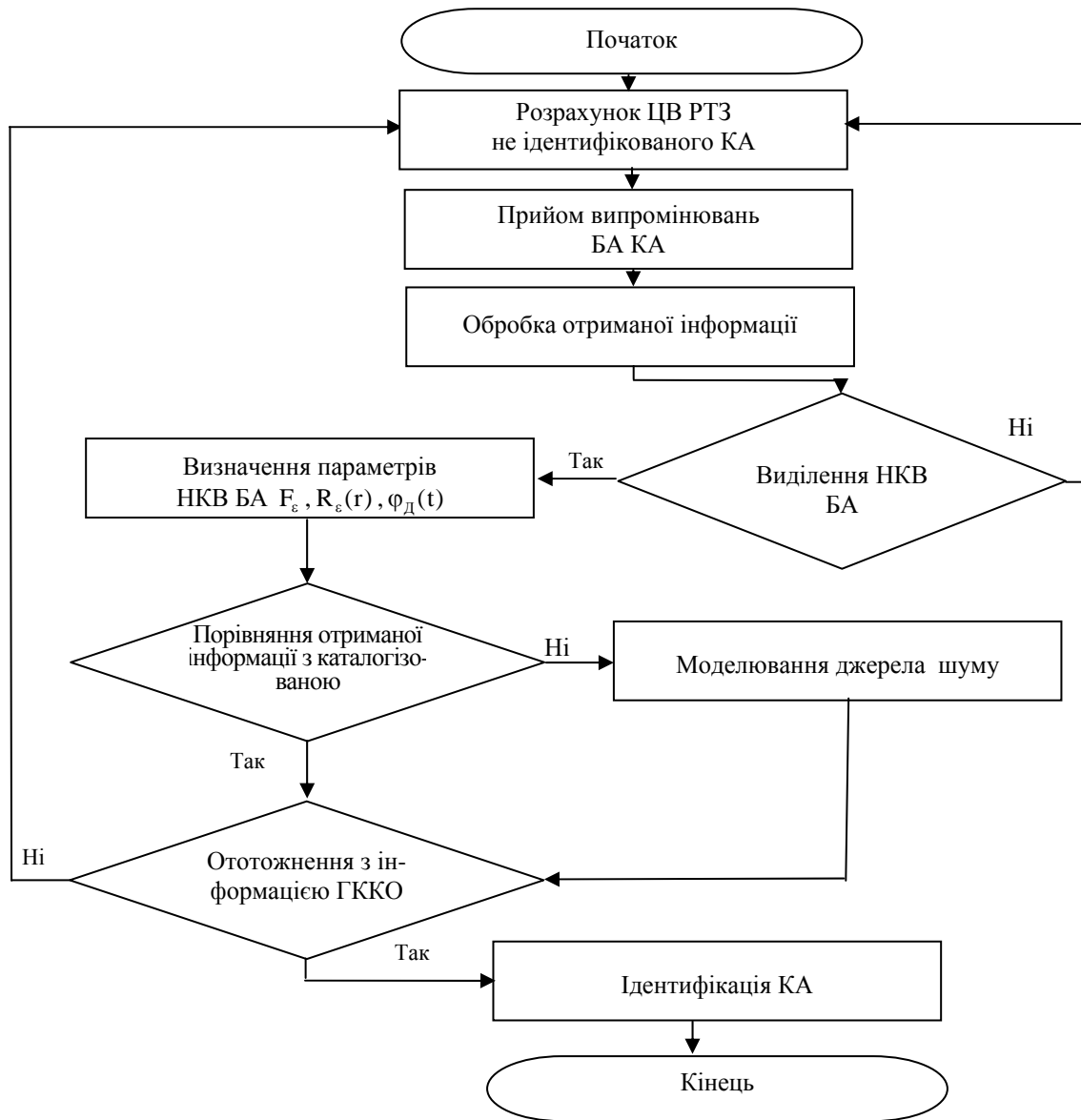


Рис. 1. Алгоритм ідентифікації НО по НКВ БА

### Список літератури

1. Радиосистемы межпланетных космических аппаратов / Под ред. А.С. Виницкого. – М.: Радиосвязь, 1993. – 328 с.
2. М.А. Иванов, С.В. Козелков. Анализ условий применения антенных устройств СВЧ и КВЧ диапазонов на спутниках. – М., 1989. – 12 с.
3. Бахиян Б.Ц., Назиров Р.Р., Эльясберг П.Е. Определение и коррекция движения. – М.: Наука, 1980. – 360 с.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Применения корреляционного и спектрального анализа. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
5. Бреммер К., Зиффлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюси. – М.: Наука, 1982. – 199 с.
6. Воронов А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость. – М.: Наука, 1979. – 336 с.
7. Гихман И.И., Скороход А.В., Ядренко М.И. Теория вероятности и математическая статистика. – К.: Вища школа, 1979. – 408 с.

8. Поляк Б.Т., Цыпкин Я.З. Робастные алгоритмы адаптации // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 10. – С. 91-97.
9. Мостеллер Ф., Тьюки Дж. Анализ данных и регрессия. – М.: Финансы и статистика, 1982. – Вып. 1(2). – 239 с.
10. Кендэл М. Ранговые корреляции. – М.: Статистика, 1975. – 252 с.
11. Козелков С.В., Ставицький С.В. Моделювання функціонування радіотехнічної апаратури космічного апарата // Збірник наукових праць ЦНДІ навігації та управління. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – С. 3-7.

Надійшла до редколегії 5.04.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління, Київ.