УДК 629.783:004.722.45

О.М. Шарабайко

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І АНАЛІЗУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

У статті проаналізовано функціонування існуючих систем контролю і аналізу космічної обстановки. Для підвищення якості вирішення завдання контролю космічного простору та аналізу космічної обстановки необхідно дослідити особливості їх функціонування.

Ключові слова: *ефективність, космічний апарат, системи контролю і аналізу космічної обстановки.*

Вступ

Існування системи контролю і аналізу космічної обстановки (СКАКО) дозволяє Україні мати повну інформацію про космічну обстановку, що є одним із основних факторів забезпечення міжнародного права і національної безпеки держави.

Порівняльний аналіз літератури показав, що для підвищення якості вирішення завдання контролю космічного простору та аналізу космічної обстановки необхідно дослідити особливості їх функціонування.

На якість виконання завдань СКАКО впливають різні фактори. Серед основних є наступні:

– територіальне розташування вимірювальних засобів контролю космічного простору;

– якість каналів зв'язку;

– оперативність визначення навігаційних параметрів космічних об'єктів і ін.

При цьому доцільно визначити загальні критерії оцінки якості функціонування СКАКО і можливість застосування її з метою навігаційного забезпечення управління КА.

Система контролю космічного простору є інформаційною системою, яка забезпечує супровід, розпізнавання і каталогізацію космічних об'єктів. Якість функціонування системи можна вважати достатньою, якщо вона дозволяє отримати з заданою точністю інформацію про космічні об'єкти.

Результати досліджень

Основними особливостями функціонування СКАКО є:

1) велика кількість елементів системи;

2) складність взаємозв'язків як у самій системі, так і між системою і навколишнім середовищем;

3) функціонування всієї системи підпорядковується єдиній меті – контролю та аналізу космічної обстановки;

4) у складі СКАКО визначена підсистема, яка забезпечує управління всіма комплексами, які входять до її складу.

Таким чином, якість функціонування системи потрібно оцінювати, оперуючи великою кількістю показників. Але доцільно враховувати, насамперед, ті, які найбільше впливають на досягнення функціонального результату – $Р_ф$. Безумовно, що виконання тієї чи іншої задачі неможливо без витрат ресурсів $В_р$ і часу Т. Оскільки СКАКО функціонує в стаціонарному режимі, то фактор часу не має істотного значення хіба що в деяких виняткових випадках надання оперативних даних про пріоритетні КО згідно заявок споживачів цієї інформації. Інакше фактор часу може розглядатися як – $Р_ф$.

Разом із цим досягненням мети СКАКО – $Ц_с$ слід вважати виконане завдання – З. Виходячи з мети, яку необхідно досягти, потрібно кількісно визначити показники $Р_ф$, $В_р$, Т, тобто $Ц_с \leftrightarrow З = З(Р_ф, В_р, Т)$.

Безумовним є те, що досягненням мети може бути виконання певної кількості різноманітних завдань. Таким чином, показниками успішного виконання СКАКО завдань за призначенням є показники функціональної, ресурсної та часової (оперативної) ефективності. Таким чином, досліджуючи ступінь ефективності СКАКО, слід визначати, який саме показник буде розглядатися як визначальний: функціональний, цінової, оперативний. Безумовним є те, що при вирішенні завдань забезпечення національної безпеки ціновий показник буде грати другорядне значення, і тому, насамперед, слід зупинитися на функціональному та оперативному показниках.

Досягнення функціонального результату $Р_ф$ пов'язане з певними витратами енергетичних, фінансових, інформаційних, трудових та інших ресурсів. Отже, якість функціонування СКАКО – є її здатність якісно працювати за призначенням, даючи

відповідний виграш при вирішенні відповідних завдань. Вона залежить від параметрів системи в цілому, параметрів її підсистем і від різноманітних впливів зовнішнього середовища. Якщо виразити через *X* множину параметрів системи, тобто *X={Xi}*, де *i = [1,p]*, а через *Y* множину параметрів зовнішнього середовища – *Y={Yk}*, де *k=[1,м]*, тоді $P_ф = P_ф (X,Y)$.

Виходячи з цього про ефективність СКАКО можна говорити лише за умови якщо вона вище деякого граничного рівня $P^*_ф$, тобто $P_ф \geq P^*_ф$.

Її слід розглядати, насамперед, у контексті трьох основних показників:

– величини контрольованого повітряно-космічного простору – *Ω*;

– повноти контролю (відсоток від загального числа КО, що пройшли через зону контролю за певний проміжок часу для яких визначено параметри руху) – *χ*;

– точності супроводу – *δ*.

Загальна інформація про СКАКО не дозволяє судити про виконання функцій системою і робити порівняльну оцінку систем. Виникає необхідність оцінки якості системи з допомогою деяких узагальнених показників, які об'єднують в собі найбільш важливі часткові показники. Для обґрунтування їх структури та складу необхідно визначити в першу чергу основні показники якості системи і критерії, відповідно з якими повинна здійснюватися оптимізація.

Позначимо через *u* вектор параметрів орбіти КО, а через Q_u континуальною область всіх можливих значень параметрів орбіт КО, які підлягають обслуговуванню. Якщо Q_u розділити на підобласті Q_{uj}, то підобласть Q_{uj} буде включати параметри орбіт КО *j*-го класу. Тоді можна визначити апріорну ймовірність наявності в потоці КО, які обслуговуються, представників *j*-го класу

$$P_{aj} = \int_{\Omega uj} f_a(U)dU \qquad (1)$$

де $f_a(U)$ – апріорна щільність розподілу вектора параметрів *u*, яка характеризує поточну «заселеність» космічного простору та тенденції її зміни в майбутньому.

Апріорні ймовірності P_{aj} появи об'єктів того чи іншого класу орієнтовно можуть бути оцінені на основі наявної в СКАКО інформації про сумарну кількість КО – M_o і кількості КО того чи іншого класу M_{oj}, які можуть потрапляти в сектор огляду даного комплексу з урахуванням реальних параметрів орбіт КО. Тоді $P_{aj} = \frac{M_{oj}}{Mo}$. Отже повнота контролю може бути виражена як

$$¡ = \frac{\sum_j M_j}{M_o} = \frac{M}{M_o}. \qquad (2)$$

Якщо маємо справу з космічними апаратами певного класу, то $¡ = P_{об}(¥, T)$.

Таким чином маємо узагальнений показник ефективності – $P_{об}(γ,T)$, який монотонно залежить від показників якості системи. Оптимізація обраного або вже створеного угруповання за технічними параметрами щодо найбільш важких умов роботи в загальному вигляді може бути представлена як

$$\max(¥)\min(v)P_{об}(¥, T) \qquad (3)$$

де γ – ТТХ засобів спостереження; ¬ – варіанти умов роботи (розуміється наявність перешкод, зміна інтенсивності потоку КО тощо).

Важливими для реальної оцінки якості функціонування СКАКО є залежність показника ефективності $P_{об}(γ,T)$ від кількості вимірюваних параметрів КО (розмірності вектора), а також характеристик технічних засобів – *γ*, які впливають на показники точності (якості) вибірки інформації про тих чи інших ознаках КО. Найбільш об'єктивну оцінку дають результати натурних випробувань. Однак для отримання достовірної оцінки необхідно проведення великого числа випробувань по КО різноманітних класів, що не завжди виявляється можливим і потребує дуже великих часових затрат. Тому особливого значення набувають методи математичного моделювання.

Припустимо, що необхідно з точністю, яка забезпечить стале управління оцінити параметри орбіт КО. Нехай для параметрів орбіт КО – *υ*, які обслуговуються, задана деяка довірча область ∃¬, яка визначає межі допустимих відхилень оцінок вектора параметрів – $¬\hat{}$ від дійсного вектора. Таким чином, якщо $(¬\hat{} - ¬) \in ∃¬$, то вважається, що точність визначення параметрів задовольняє вимогам.

Якщо групування засобів спостереження характеризується вектором

$$¥ = (¥_1, ¥_2, ¥_3), \qquad (4)$$

де $¥_1$ – вектор, характеризуючий кількість і типи засобів спостереження (ЗС);

$¥_2$ – вектор, який включає ТТХ кожного типу ЗС;

$¥_3$ – вектор, який визначає дислокацію і орієнтацію зон спостереження кожного ЗС, то для будь-якого КА з параметрами $\upsilon \in \Omega_v$ може бути оцінена умовна ймовірність супроводу на деякому фіксованому інтервалі часу *T* з необхідною точністю угруповання ЗС яка характеризується вектором *γ*

$$P\{(\hat{ł}(¥,T)-ł)\in \exists_ł\} = f(ł,¥,T). \quad (5)$$

Відповідно достовірність обслуговування всього потоку КО того ж угрупованням ЗС з заданою точністю може бути визначена як

$$P_{об}(¥,T) = \int_{\Omega_ł} \ddot{¨}_a(ł)\, f(ł,¥,T)dł. \quad (6)$$

Если космические объекты распределены на классы и $\exists¬ = \exists¬_j$, то

$$P_{об}(¥,T) = \sum_j P_{aj}\cdot f_j P_{aj}(¥,T) \quad (7)$$

де *f(γ,T)* – ймовірність супроводу з заданою точністю КА *j* - го класу заданої угрупованням ЗС на інтервалі часу *T*.

Якщо зона контролю не дозволяє супроводжувати космічні об'єкти *j*-го класу, то відповідна ймовірність дорівнює нулю. Середнє число супроводжуваних КО *j*-го класу угрупованням засобів спостереження на інтервалі *T* можна визначити як $M_j = \sum_{i=1}^{M_{oj}} P_{aj}\, f_i(¥,T),$ для заданої сукупності вузлів і взаємозв'язків між ними. Значно менше досліджена зворотна задача: для заданого набору функцій визначити оптимальний склад системи та взаємозв'язки між ними. Приділимо основну увагу методиці розв'язання задачі вибору типу засобів спостереження, їх кількості, розташування і орієнтації зон спостереження.

Деяка початкова структура може бути побудована на підставі досвіду, виходячи з призначення системи, або з використанням засобів спостереження, які вже вирішують завдання спостереження космічних об'єктів, але в інтересах системи з іншими цільовими функціями. Така структура може бути працездатною, але не буде оптимальною за обраними показниками якості.

Система контролю космічного простору являє собою просторово-монолітну систему, і показники її якості багато в чому визначаються просторовими характеристиками засобів спостереження, які утворюють дану систему. При раціональному виборі цих та інших характеристик СККП надалі будемо спиратися на показники, введені вище, такі як – ймовірність обслуговування потоку КО $P_{об} = (¥,T).$

По фізичній суті *f(v, γ, T)* є ймовірність події, яка полягає в тому, що задана критеріальна (довірча) область $\exists¬$, побудована відносно оцінки $\hat{¬}(\gamma,T)$, «накриє» істинне значення вектора параметрів орбіти КО, за умови, що це справжнє значення дорівнює $¬ \in \Omega v$. Оцінка $\hat{¬}(\gamma,T)$ виходить на основі збору і обробки на інтервалі *T* вимірювань параметрів руху КО цього угрупованням ЗС з параметрами *γ*. Розміри і форма довірчої області відображають вимоги щодо якості обслуговування відповідного КО (в сенсі точності визначення параметрів його орбіти)

$$f(ł,¥,T) = P\{(\hat{ł}(¥,T)-ł)\in \exists_ł\}. \quad (8)$$

При отриманні значень функції *f(v,γ,T)* будемо орієнтуватися на потенційно досяжну точність оцінювання вектора *v*, яка може бути визначена на основі нерівності Рао-Крамера. При цьому в припущенні незміщеності оцінок $\hat{¬}(\gamma,T)$ всю інформацію про потенційно досяжну точність оцінювання вектора параметрів орбіти КО, який обслуговується угрупованням ЗС з параметрами *γ* на інтервалі часу *T*, можна отримати, якщо розрахувати інформаційну матрицю Фішера (матрицю точності) *1/G(γ ,T/ v)*.

Використовуючи вище наведений методичний апарат можна вирішити практичну задачу оптимізації складу, ТТХ угруповань ЗС СККП, а значить підвищити її ефективність для вирішення завдань щодо визначення навігаційних параметрів КА.

Таким чином, виходячи з узагальнених показників стає зрозуміло, що ймовірність супроводу певного угруповання КА з заданою точністю – $f_j(\gamma,T)$ залежить насамперед від різноспрямованості вектора ЗС – $¥ = (¥_1,¥_2,¥_3)$.

Слід зазначити, що є області простору, які контролюються лише оптичними засобами і не контролюються радіотехнічними. У той же час оптичні засоби мають обмеження за метеорологічними умовами, умовами освітленості, часом доби. Тобто, маємо дуже «вузький» вектор $¥ = (¥_1,¥_2,¥_3)$, який значно впливає на ефективність системи.

Висновки

Створення нових радіотехнічних, радіолокаційних, оптичних та оптико-електронних засобів ККП потребує значних матеріальних і

фінансових витрат, значного часу на їх створення та введення в дію. Актуально постає завдання розробки нових методів і способів ідентифікації космічних об'єктів і їх використання в існуючих радіотехнічних комплексах. У тому числі з використанням способу ідентифікації космічних апаратів (КА) на базі прийому і обробки неконтрольованого випромінювання бортової апаратури. Такий підхід дозволить розширити межі вектора ЗС – $¥ = (¥_{1,} ¥_{2,} ¥_{3})$ при мінімальних витратах і забезпечити ймовірність обслуговування потоку КО приблизно на 10-15%

Список літератури

1. Основи балістично-навігаційного забезпечення управління космічними апаратами / А.М. Явтушенко, С.В. Козелков, С.Д. Ставицький, І.М. Коваль: Навчальний посібник. К.: НАОУ, 2004. – 52 с.

2. Прикладные математические методы анализа в радиотехнике/ Ю.А. Евсиков, Г.В. Обрезков, В.Д. Разевиг, В.В. Чапурский, В.М. Чиликин/ Под ред. Г.В. Обрезкова. – М.: Высшая школа, 1985. – 343 с.

3. Пупков К.А., Шмыкова Н.А. Анализ и расчет нелинейных систем с помощью функциональных степенных рядов. – М.: Машиностроение, 1982. – 150 с.

Надійшла до редколегії 29.09.2014

Рецензент: доктор технічних наук, професор С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

А.Н. Шарабайко

В статье проанализировано функционирование существующих систем контроля и анализа космической обстановки. Для повышения качества решения задачи контроля космического пространства и анализа космической обстановки необходимо исследовать особенности их функционирования.

Ключевые слова: *эффективность, космический аппарат, системы контроля и анализа космической обстановки.*

ANALYSIS FUNCTIONING OF THE EXISTING SYSTEM OF CONTROL AND ANALYSIS OF OUTER SPACE

A.N. Sharabayko

The article analyzes the functioning of the existing control systems and analysis of outer space. To improve the quality of solving the problem of space control and analysis of outer space is necessary to investigate the characteristics of their operation.

Keywords: *efficiency, spacecraft, control and analysis of outer space.*