УДК 681.518.2

О.В. Шульга

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

У статті розглянуто питання підвищення ефективності і якості застосованих існуючих наземних космічних засобів і, зокрема, системи контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО). У цілому СКАКО призначена для збору, обробки та аналізу даних про стан космічної обстановки від національних засобів контролю космічного простору різної належності та інших джерел, включаючи іноземні. Обґрунтована необхідність вирішення завдання оперативного виявлення і попередження про виникнення джерел небезпеки в космічному просторі, що загрожують національній безпеці України. Проведений аналіз інформаційних можливостей СКАКО дозволяє зробити висновок про можливість вирішення низки певних завдань.

Ключові слова: *космічний апарат (КА), супутникова радіонавігаційна система (СРНС), система контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО), ідентифікація, канал зв'язку, функціональний результат, фактор часу.*

Вступ

Для вивчення особливостей побудови системи контролю та аналізу космічної обстановки та шляхів підвищення якості її функціонування доцільно, насамперед, провести аналіз вимог, пропонованих до цієї системи.

Виходячи з того, що ідентифікація космічних об'єктів є однією з основних задач систем контролю космічного простору, без вирішення якої не можна стверджувати про виконання всього комплексу балістичних задач по визначенню навігаційних параметрів і прогнозування параметрів руху космічних апаратів, виникає необхідність всебічного дослідження задач ідентифікації КА.

У статті також розглянуті можливості підвищення завадостійкості приймальних пристроїв РТС, а також питання підвищення оперативності визначення навігаційних параметрів КА для підвищення якості функціонування СКАКО.

У першому розділі проведено аналіз особливостей функціонування: систем ідентифікації космічних апаратів (КА), побудованих на принципах вимірювання поточних навігаційних параметрів в умовах однопунктової технології управління та ідентифікації.

Викладено, що ідентифікація КА, як складова частина системи контролю та аналізу космічної обстановки, може проводитися радіотехнічним комплексом, що має повноповоротню антену з порівняно великою ефективною площею й високою чутливістю приймального тракту порядку 10^{-7} Вт.

Мета статті: розгляд питання підвищення якості функціонування СКАКО, визначення її здатності виконувати завдання за призначенням із заданою точністю на певному часовому інтервалі.

Основна частина

Порівняльний аналіз літератури [1, 2, 3] показав, що для підвищення якості вирішення задачі контролю космічного простору і аналізу космічної обстановки необхідно дослідити особливості їх функціонування.

На якість виконання завдань СКАКО впливають різноманітні фактори:

– територіальне розташування вимірювальних засобів контролю космічного простору;

– якість каналів зв'язку;

– оперативність визначення навігаційних параметрів космічних об'єктів тощо [4].

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 та каталогізацію космічних об'єктів. Якість функціонування системи можна вважати достатньою, якщо вона дозволяє отримати із заданою точністю інформацію про космічні об'єкти.

Основними особливостями 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 підпорядковано єдиній меті – контролю та аналізу космічної обстановки;

4) у складі СКАКО визначена підсистема, яка забезпечує управління всіма комплексами, які входять до її складу [5].

Таким чином, якість функціонування системи потрібно оцінювати, оперуючи більшою кількістю показників. Але доцільно враховувати, перш за все, ті, які найбільше впливають на досягнення функціонального результату – Рф. Безумовно, що виконання того чи іншого завдання неможливо без витрат ресурсів Вр 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 відповідних заявок споживачів цієї інформації. Інакше фактор часу може розглядатися в якості – Рф.

Разом із цим досягненням СКАКО мети - Цс слід розрізняти завдання, яке має бути виконаним - З. Виходячи з мети, яку слід досягти, потрібно кількісно визначити показники Рф, Вр, Т, тобто Цс <p> З = З (Рф, Вр, 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 тимчасової (оперативної) ефективності. Таким чином, досліджуючи ступінь ефективності СКАКО, слід визначатися, який саме показник буде розглядатися як визначальний: функціональний, цінової, оперативний. Безумовним є те, що при вирішенні завдань забезпечення національної безпеки ціновий показник буде мати другорядне значення, і тому, перш за все, слід зупинитися на функціональному і оперативному показниках [4].

Досягнення функціонального результату Рф пов’язане з певними витратами енергетичних, фінансових, інформаційних, трудових та ін 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 безліч параметрів системи, тобто X = {Xj}, де j = [1, р], а через Y безліч параметрів зовнішнього середовища – Y = {Yk}, де k = [1, м], тоді Рф = Рф (X, Y).

Виходячи з цього про ефективність СКАКО можна говорити лише за умови якщо вона вище деякого граничного рівня Р * ф, тобто Рф> Р * ф.

Її слід розглядати, насамперед, у контексті трьох основних показників [4, 5]:

– величина контрольованого повітряно-космічного простору – Q;

– повнота контролю (відсоток від загального числа КО, що пройшли через зону контролю за певний проміжок часу для яких визначені параметри руху) – %;

– точність супроводу – 6.

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

Позначимо через і вектор параметрів орбіти КО, а через Qu континуальну область всіх можливих значень параметрів орбіт КО, які підлягають обслуговуванню. Якщо Qu розділити на підобласті Quj, то підобласть Quj буде включати параметри орбіт КО j-го класу. Тоді можна визначити апріорну ймовірність наявності в потоці КО, що обслуговуються, представників j-го класу як

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

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

Апріорні ймовірності $p_a j$ появи об’єктів того чи іншого класу орієнтовно можуть бути оцінені на основі наявної в СКАКО інформації про сумарній кількості КА – Ц, і кількості КА того чи іншого класу Мт які можуть потрапляти в сектор огляду даного комплексу з урахуванням реальних параметрів орбіт КА. Тоді

$$P_{aj} = \frac{M_{oj}}{M_o}\,. \qquad (2)$$

Отже повнота контролю може бути виражена як

$$\chi = \frac{\sum_j M_j}{M_o} = \frac{M}{M_o}\,. \qquad (3)$$

Якщо маємо справу з космічними апаратами певного класу, то

$$X = Роб\ (Г, Т). \qquad (4)$$

Таким чином маємо узагальнений показник ефективності – $P_{об}$ (у, Т)> 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

$$\max(\gamma)\min(\nu)P_{об}(\gamma,T) \qquad (5)$$

де γ – ТТХ засобів спостереження;

ν – варіанти умов роботи (розуміється наявність перешкод, зміна інтенсивності потоку КО і т. д.).

Важливими для реальної оцінки якості функціонування СКАКО є залежність показника ефективності $P_{об}(\gamma,T)$ від кількості вимірюваних параметрів КА (розмірності вектора), а також характеристик технічних засобів – γ, які впливають на показники точності (якості) вибірки інформації про ті чи інші ознаки КА. Найбільш об'єктивну оцінку дають результати натурних випробувань. Однак для отримання достовірної оцінки необхідно проведення дуже 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 [1, 2, 5].

Припустимо, що необхідно з точністю, яка забезпечить стійке управління оцінити параметри орбіт КА. Нехай для параметрів орбіт КА – V, що обслуговуються, завдання деяких довірча область – З v, яка визначає межі допустимих відхилень оцінок вектора параметрів - від істинного вектора. Таким чином, якщо – v) є З v, то вважається, що точність визначення параметрів задовольняє вимогам.

Якщо групування засобів спостереження характеризується вектором

$$Г = (Г \mid / 2 / з)> \qquad (6)$$

де ft – вектор, що характеризує кількість і типи засобів спостереження (СН);

у2 – вектор, який включає ТТХ кожного типу СН;

Yз-вектор, який визначає дислокацію і орієнтацію зон спостереження кожної СН то для будь-якого КА з параметрами ієЦ, може бути оцінена умовна ймовірність супроводу на деякому фіксованому інтервалі часу Т з необхідною точністю угруповання СН яка характеризується вектором

$$P\{(\hat{\upsilon}(\gamma,T)-\upsilon)\in \exists_{\upsilon}\} = f(\upsilon,\gamma,T). \qquad (7)$$

Відповідно достовірність обслуговування всього потоку КО тій же угрупуванням СН із заданою точністю може бути визначена як

$$P_{об}(\gamma,T)=\int_{\Omega}\varphi_a(\upsilon)f(\upsilon,\gamma,T)d\upsilon. \qquad (8)$$

Якщо космічні об'єкти розподілені на класи і З v = E vj, то

$$P_{об}(\gamma,T)=\sum_j P_{aj}\cdot f_j P_{aj}(\gamma,T), \qquad (9)$$

де f (у, Т) – ймовірність супроводу із заданою точністю КА j-го класу заданої угрупованням СН на інтервалі часу Т.

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 Т можна визначити як М = YjPajfi (Y> Т для заданої j = 1 сукупності вузлів і взаємозв'язків між ними. Значно менше досліджуваних зворотна задача: для заданого набору функцій визначити оптимальний склад системи і взаємозв'язок між ними. Приділимо основну увагу методиці вирішення задачі вибору типу засобів спостереження, їх кількості, дислокації та орієнтації зон спостереження [3, 4].

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 (наприклад, для системи попередження про ракетний напад). Така структура може бути працездатною, але не буде оптимальною за обраним показниками якості.

Система контролю космічного простору являє собою просторово-рознесену 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 Роб = (у, Т).

За фізичним змістом f (v, у, Т) є ймовірність події, яка полягає в тому, що задана критеріальна (довірча) область З v, побудована відносно оцінки v (у, Т), «накриє» справжнє значення вектора параметрів орбіти КО, за умови, що це справжнє значення дорівнює v = Q v. Оцінка v (у, Т) виходить на основі збору і обробки на інтервалі Т вимірювань параметрів руху цього КО угрупованням СН з параметрами у. Розміри і форма довірчої області відображають вимоги щодо якості обслуговування відповідного КО (в сенсі точності визначення параметрів його орбіти) f (u, у, Т) = Р {(v (Y, T)-u) е ЗU} При отриманні значень функції f(v, у, Т) будемо орієнтуватися на потенційно досяжну точність оцінювання вектора v, яка може бути визначена на основі нерівності Рао-Крамера. При цьому в припущенні незміщеності оцінок v (r, Т) всю інформацію про потенційно досяжною точності оцінювання вектора параметрів орбіти КО, який обслуговується угрупованням СН з параметрами у на інтервалі часу Т, можна отримати, якщо розрахувати інформаційну матрицю Фішера (матрицю точності) 1 / G (у, Т / v) .

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

Таким чином, виходячи з узагальнених показників стає зрозуміло, що ймовірність супроводу певного угруповання КА із заданою точністю -Ду, Т) залежить насамперед від різноспрямованості вектора СН – у = (Л/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

У = {У / 2, У') -> який значно впливає на ефективність системи [4].

Створення нових радіотехнічних, радіолокаційних, оптичних та оптико-електронних засобів ККП потребує значних матеріальних і фінансових витратах, значному часу на їх створення та введення в дію. Актуально постає задача 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 СН -у - (У/2, Уз) при мінімальних витратах і забезпечити вірогідність обслуговування потоку КО приблизно на 10-15%.

Висновки

У рамках статті був проведений аналіз факторів, що впливають на підвищення якості вирішення задачі контролю космічного простору і аналізу космічної обстановки. У результаті виконаної роботи можливо зробити наступні висновки:

1. На якість виконання завдань СКАКО впливають наступні основні фактори: територіальне розташування вимірювальних засобів контролю космічного простору, якість каналів зв'язку та оперативність визначення навігаційних параметрів космічних об'єктів .

2. Система контролю космічного простору є інформаційною системою, яка забезпечує супровід, розпізнавання та каталогізацію космічних об'єктів.

3. Система контролю космічного простору являє собою просторово-рознесену систему, і показники її якості багато в чому визначаються просторовими характеристиками засобів спостереження, які утворюють дану систему.

4. Створення нових радіотехнічних, радіолокаційних, оптичних та оптико-електронних засобів ККП потребує значних матеріальних і фінансових витратах, значному часу на їх створення та введення в дію. Актуально постає задача розробки нових методів і способів ідентифікації космічних об'єктів і їх використання в існуючих радіотехнічних комплексах.

Список літератури

1. *Агаджанов П.А. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных / П.А. Агаджанов, Н.М. Барабанов, Н.И. Буренин. – М.: Советское радио, 1964. – 504 с.*
2. *Гладченко В.В. Космические радиотехнические комплексы / В.В. Гладченко, А.А. Корниленко, И.Ю. Латынский. – МО СССР, 1985. – 825 с.*
3. *Хомяков Э.Н. Измерительно-информационные радиосистемы / Э.Н. Хомяков. – Харьков: ХВВКИУРВ, 1985. – 219 с.*
4. *Погорелов А.И. Общие вопросы построения сигналов измерительных радиосистем / А.И. Погорелов, Л.Ф. Купченко // Пространственно-временная обработка сигналов. – Харьков: ХАИ, 1986. –с. 3-11.*
5. *Кондратьев В.С. Многопозиционные радиотехнические системы / В.С. Кондратьев, А.Ф.Котов, Л.Н. Марков. – М: Радио и связь, 1986. –264 с.*

Надійшла до редколегії 20.11.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації та управління», Київ.

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

О.В. Шульга

В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности и качества применяемых существующих наземных космических средств и, в частности, системы контроля и анализа космической обстановки (СКАКО). В целом СКАКО предназначена для сбора, обработки и анализа данных о состоянии космической обстановки от национальных средств контроля космического пространства различной принадлежности и других источников, включая иностранные. Обоснована необходимость решения задачи оперативного обнаружения и предупреждения о возникновении источников опасности в космическом пространстве, которые угрожают национальной безопасности Украины. Проведенный анализ информационных возможностей СКАКО позволяет сделать вывод о возможности решения ряда определенных задач.

***Ключевые слова**: космический аппарат (КА), спутниковая радионавигационная система (СРНС), система контроля и анализа космической обстановки (СКАКО), идентификация, канал связи, функциональный результат, фактор времени.*

EXISTING OUTER SPACE CONTROLS AND ANALYSIS SYSTEMS FUNCTIONING FEATURES ANALYSIS

O.V. Shulga

The paper deals with applied existing terrestrial space systems efficiency and quality improving, in particular, outer space control and analysis systems (OSMAS). Overall OSMAS designed to space environment state data collect, process and analyze from the national space control accessories and other sources, including foreign ones. The necessity hazards occurrence in space prompt detection and prevention problem solving that threaten Ukrainian national security justified. OSMAS capabilities information analysis suggests possibility of number of specific tasks solving.

***Keywords:** spacecraft (SC), satellite radio navigation system (SRNS), outer space monitoring and analysis system (OSMAS), identification, channel, functional outcome, time factor.*