

ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ АКТИВНОГО БАГАТОПОЗИЦІЙНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ З ВЕЛИКИМИ БАЗАМИ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА АНАЛІЗУ КОСМІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ

Розглянуто проблему комплексного використання радіолокаційних засобів надгоризонтного виявлення космічних об'єктів. Визначено, що єдиними засобами розвідки космічного простору є активні радіолокаційні станції. Основну увагу в статті приділено розробці принципів побудови багатопозиційних комплексів з великими базами, які забезпечують точне оцінювання параметрів руху супроводжуваних об'єктів при використанні як джерел інформації грубих вимірювачів. Вихідна інформація вимірювальних засобів контролю космічного простору є початковою для вирішення подальших завдань в інтересах безпеки та оборони держави.

Ключові слова: космічний об'єкт, орбітальні параметри, контроль космічного простору, багатопозиційний радіолокаційний комплекс.

Постановка проблеми в загальному вигляді. У другій половині ХХ та на початку ХХІ століття космічна галузь є передовою за інноваційною ефективністю. Кількість космічних об'єктів (КО) штучного походження постійно змінюється за рахунок виведення нових та призупинення функціонування старих. Згідно із Загальнодержавною цільовою науково-технічною космічною програмою України на 2013–2017 роки підвищення рівня інформатизації в державних органах, які здійснюють повноваження у сфері національної безпеки та оборони, особливо під час виконання оперативних завдань, передбачається досягти, у тому числі, за рахунок контролю космічного простору [1].

Вирішення завдань з контролю космічного простору в Україні покладено на Систему контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО).

Відповідно до Концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року передбачено створення в Україні багатофункціональної системи здійснення контролю та проведення аналізу космічного простору із забезпеченням моніторингу низькоорбітальних КО та підтримкою їх каталогу [2].

Оперативна і точна об'єктивна інформація про стан та зміну космічної обстановки необхідна для:

вирішення завдань в інтересах національної безпеки й оборони, а саме: оцінювання діяльності та потенціалу іноземних держав у навколосемному просторі; інформаційно-розвідувального забезпечення Збройних Сил України та інших силових структур; оперативного планування цільового застосування національних космічних апаратів (КА); налагодження зв'язку з КА при виведенні вітчизняних супутників на нерозрахункову орбіту, виникненні різного роду нештатних ситуацій на борту;

розвитку зовнішньоекономічної діяльності в сфері забезпечення об'єктивного контролю процесу виведення іноземних КА на заплановану орбіту, надання послуг зі

здійснення управління КА, участі в міжнародних програмах, наприклад, щодо створення системи безпеки польотів діючих КА.

Основними вимогами до каталогу КО є його повнота, достовірність, точність та оперативність оновлення даних. Відмінною рисою структури інформаційно-вимірювальних засобів СКАКО в Україні є наявність засобів усіх типів, що можуть бути задіяними для контролю, які дислоковані на географічно обмеженій території, що приводить до зменшення часу спостереження КА на одному витку і на добовому інтервалі та, відповідно, знижує можливості з точності визначення орбітальних параметрів, оперативності оновлення інформації, а також збільшує протяжність повного циклу оброблення інформації щодо космічних об'єктів.

У зв'язку з цим необхідно комплексувати роботу всіх вимірювальних засобів, а також підвищити точність оцінювання параметрів руху КО за результатами спостереження радіолокаційними станціями (РЛС) надгоризонтного виявлення, які єдині вирішують завдання розвідки космічного простору. Для досягнення високої точності можна визначити такі шляхи: підвищення адекватності моделі руху КО, що використовується при обробленні вимірювальних даних; збільшення кількості та якості вхідних вимірювальних даних; застосування нетипових для задач балістики КО методів розв'язання диференціальних рівнянь.

Побудова багатопозиційних радіолокаційних комплексів (БП РЛК) та комплексування вимірювальної інформації про об'єкти спостереження в них дозволяє збільшити кількість та якість вхідних вимірювальних даних, що дозволить підвищити якість ведення каталогу КО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати аналізу використання багатопозиційних систем показують широке розповсюдження багатопозиційних комплексів в управлінні повітряним рухом низки країн Європи [3, 4]. Вихідна інформація про наявність, координати й ознаки виявлених або передбачуваних цілей допомагає створити суцільне та ешелоноване за висотою радіолокаційне поле. БП РЛК даного типу можуть органічно вливатися в обслуговувані ними системи управління із спільними ЕОМ та лініями зв'язку. Відмінною рисою таких комплексів є відсутність необхідності високоточного визначення параметрів руху повітряного транспорту, а також оцінювання та подальшого використання точнісних показників, малі швидкості руху об'єктів порівняно з КА і малодинамічний рух на більшості ділянок польоту. Таким чином, в алгоритмічному плані реалізовані методи рекурентної фільтрації та комплексування одиничних вимірів цілком відповідають висунутим вимогам щодо управління повітряним рухом.

Активні БП РЛК використовують також у системі контролю космічного простору. Так, ще в СРСР були створені два об'єкти в районі м. Іркутськ і озера Балхаш, кожен з яких складався з п'яти оглядових РЛС, зони огляду яких були розташовані одна над одною, де оцінювання координат і параметрів виявлених від цілей сигналів проводилося на кожній з них на етапі первинного оброблення сигналів, що приймалися, а визначення параметрів траєкторії цілей – на етапі вторинного оброблення радіолокаційних даних. Такий комплекс є з малими базами, тобто відстань до цілі набагато перевершує базу між позиціями, а основна ідея їх створення – розширити зону дії РЛС (час супроводу КА з однієї точки спостереження на одному витку польоту).

На даний час у Російській Федерації постановлено на бойове чергування низку РЛС системи попередження про ракетний напад нового покоління (високої заводської готовності), зокрема, «Вороніж-ДМ», що дислокується в районі м. Армавір Краснодарського краю [5]. На одній позиції дислоковані дві РЛС для розширення зони огляду. Основним недоліком такого підходу є неможливість скористатися всіма перевагами багатопозиційної радіолокації в плані комплексного оброблення вимірних даних.

Формулювання завдання дослідження. Характерною рисою існуючих БП РЛК, які використовують для визначення параметрів руху спостережуваних об'єктів, є застосування малих баз між вимірювачами, що не дозволяє отримати надлишкову якість просторових даних. *Метою статті* є розробка принципів побудови БП РЛК контролю космічного простору з великими базами для забезпечення високоточного оцінювання параметрів руху КО.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначимо, що принципи відображають ті суттєві характеристики, які відповідають за правильне функціонування системи, без яких вона не виконувала б свого призначення.

Завдання визначення параметрів руху КО в БП РЛК контролю космічного простору передбачає встановлення орбітальних параметрів об'єкта спостереження в системі координат, у якій записана модель руху КО, за набором вимірів координат цілі в місцевій прямокутній системі координат, у якій працює кожна РЛС комплексу. На рис. 1 графічно зображено політ КО крізь зону спостереження РЛС БП РЛК.

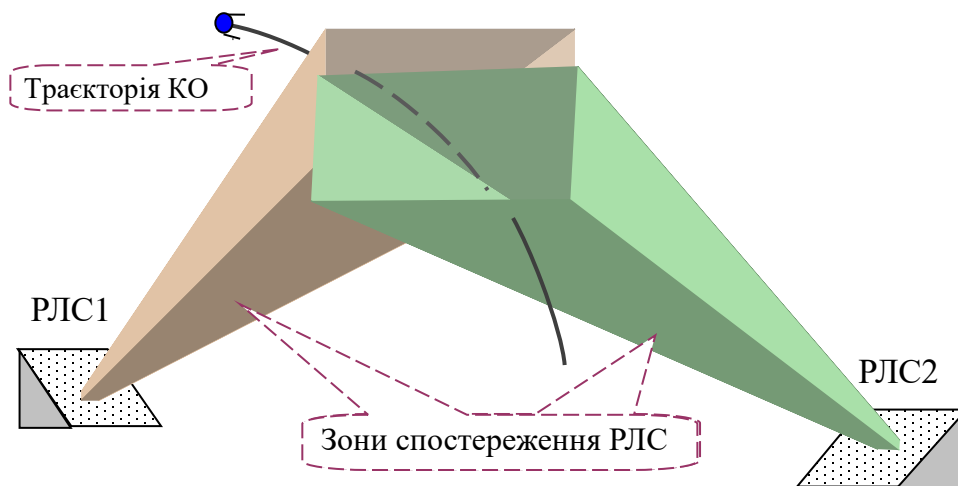


Рис. 1. Схема польоту КО в зоні спостереження РЛС БП РЛК

На рис. 2 завдання оброблення вимірювальної інформації в БП РЛК подано у вигляді схеми: за набором вимірних у моменти часу t_i векторів координат КО, наприклад, у сферичній системі координат, необхідно визначити за нелінійною залежністю параметри руху КО в геоцентричній системі координат на певний момент часу t_0 . На рис. 2 зображено загальний двоетапний підхід, коли на першому здійснюються попередні процедури визначення 6-мірного вектора параметрів руху на обчислювальному комплексі кожної РЛС, а на другому – комплексування даних з вимірювачів та кінцеве встановлення параметрів руху об'єкта спостереження і точнісних показників.

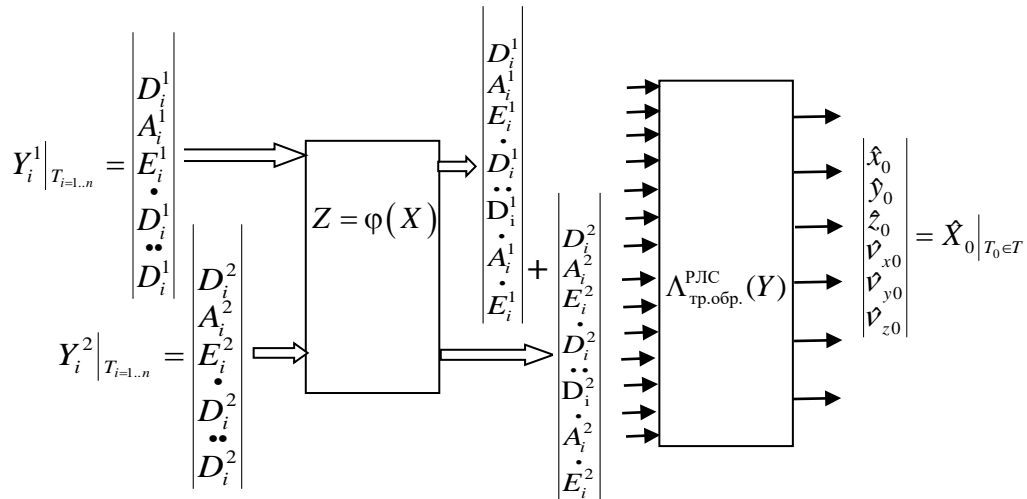


Рис. 2. Завдання оброблення вимірювальної інформації в БП РЛК

При розгляді досліджуваного завдання необхідно зазначити таке.

1. Перелік завдань, які вирішуються за допомогою багатопозиційних локаційних комплексів, поділяється на два основні класи:

перший, коли за результатами вимірювань визначаються параметри руху (координати в просторі) об'єкта спостереження; такі задачі є як у цивільних галузях, наприклад, в управлінні повітряним рухом, так і у військовій, зокрема, при застосуванні зенітно-ракетних комплексів з головками самонаведення;

другий, коли за результатами вимірювань визначаються як параметри руху об'єкта спостереження, так і їх точнісні оцінки, необхідні як початкові дані для розв'язання інших задач, наприклад, планування застосування КА дистанційного зондування Землі; від точності оцінювання параметрів руху КА залежить імовірність виконання поставленого завдання.

У даній статті досліджується другий клас задач.

2. Переважна більшість завдань, які вирішуються за допомогою багатопозиційних (багатоканальних) комплексів, ставлять на меті визначення координат об'єкта в просторі, наприклад, супутникові радіонавігаційні системи, а також далекомірні, кутомірні пеленгаційні комплекси. У подальшому використанні результатів пеленгування суто багатопозиційність практично не використовується і не впливає на відображення положення об'єкта на мапі, розрахунок траси польоту літального засобу тощо.

У меншості завдань, до якої входить поставлене на дослідження, положення об'єкта спостереження в просторі визначається автономно кожним однопозиційним вимірювачем, а багатопозиційність впливає безпосередньо на розв'язання подальших задач. Так, у випадку, що розглядається, основним завданням є точне визначення параметрів орбіт супроводжуваних КО в геоцентричній системі координат за вимірами просторового положення цілей в радіолокаційній системі координат. Визначення орбіт КО кожним вимірювачем та подальше комплексування даних вимірювань дозволяє отримати достатню точність оцінювання орбітальних параметрів для вирішення подальших завдань, які базуються на прогнозуванні положення КО.

Класифікацію БП РЛК наведено на рис. 3 [6, 7]. Розглянемо деякі найбільш характерні їх особливості.

Виходячи з існуючої класифікації багатопозиційних комплексів, радіолокаційний комплекс спостереження за КО на базі РЛС надгоризонтного виявлення [8] можна розглядати як активну некогерентну систему з автономним прийомом сигналів з комплексуванням інформації:

на рівні траєкторій цілей при попередньому вирішенні низки завдань оброблення одиничних вимірів для збільшення точності оцінок координат;

на рівні одиничних вимірів координат.

БП РЛК активної локації є сукупністю автономно працюючих однопозиційних РЛС, об'єднаних обчислювальними засобами і вузькосмуговими лініями зв'язку.

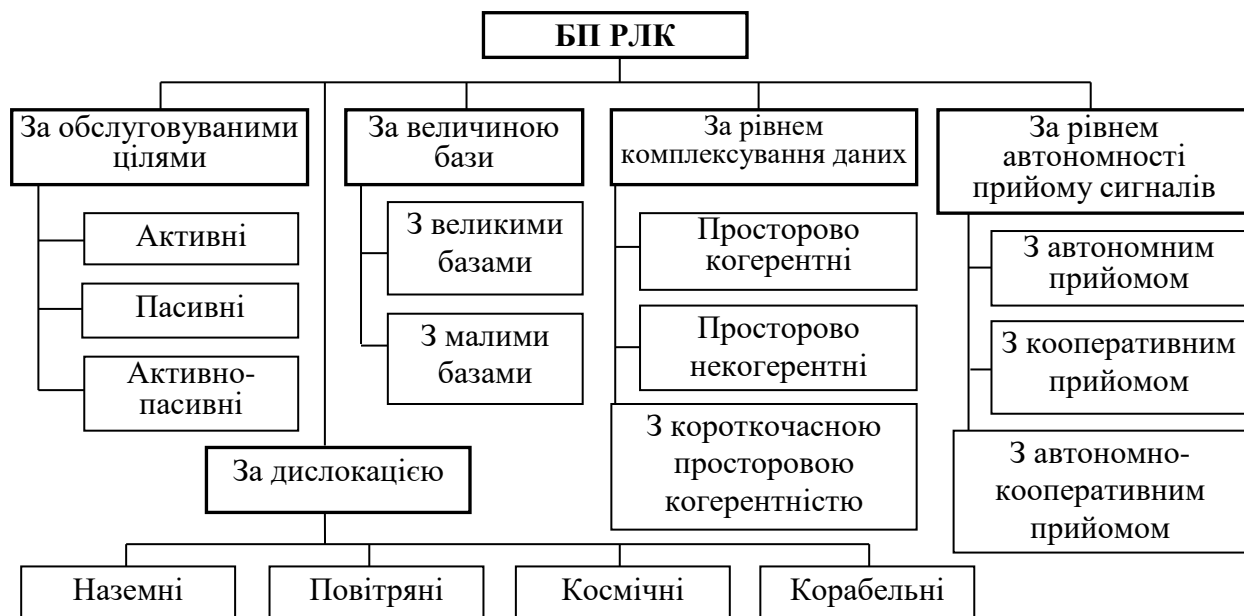


Рис. 3. Класифікація БП РЛК

Відмінними особливостями таких БП РЛК є [6, 7]:

різні РЛС можуть працювати на різних частотах;

можливість визначення просторового положення КО в кожному циклі вимірювань кожною позицією комплексу;

відсутність синхронізації позицій комплексу з точністю до фази несучого коливання;

підвищення точності вимірювальної інформації за рахунок великих відстаней (баз) між позиціями;

можливість уточнення параметрів руху КО за рахунок надмірності радіолокаційної інформації.

Найбільш ефективною щодо вирішення завдань контролю космічного простору є побудова БП РЛК з великими базами, у якому величини баз між позиціями співмірні з відстанню до КО. Геометричну відмінність радіолокаційних комплексів з малими та великими базами показано на рис. 4. Відзначимо, що в багатопозиційній радіолокації ефективніше використовуються дані, у яких міститься просторова структура електромагнітного поля, що дозволяє істотно підвищити інформативність вихідних даних від радіолокаційних засобів. У цьому разі ми маємо справу з вирішенням специфічних

завдань обробки вимірювальних радіолокаційних даних, пов'язаних з комплексуванням (узагальненням) інформації про цілі, що надходять одночасно від декількох джерел (сенсорів). Вирішення цих завдань у БП РЛК зазвичай називається третинною обробкою радіолокаційної інформації.

З рис. 4а видно, що при використанні комплексу з малими базами база L між позиціями значно менша від D до цілі. У цьому разі промені від вимірювальної системи перетинаються під малими кутами, отже, результуюча область похибок є перетином областей погрешностей позицій комплексу, які практично накладаються одна на одну. Такий підхід не дозволяє використовувати переваги багатопозиційної системи з автономним прийомом сигналів, одна з яких – підвищення точності за рахунок просторової надмірності інформації на основі збільшення бази між позиціями, а саме отримання вимірювань координат цілі із суттєво рознесених у просторі напрямків. У цьому разі дальність до об'єкта співмірна з відстанню між позиціями (рис. 4б). Радіус-вектори від РЛС до КО, які характеризуються кутами візування, перетинатимуться під великими кутами. Тому результуюча похибка визначатиметься зоною перетину областей похибок кожної позиції та буде значно меншою, ніж у разі використання систем з малими базами, і, відповідно, точність визначення параметрів руху КО значно вища.

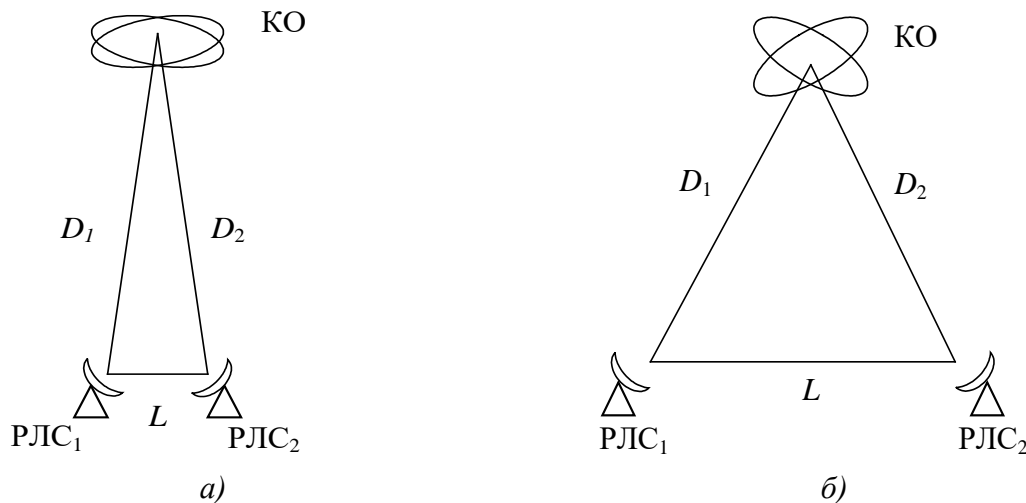


Рис. 4. Орієнтація еліпсів похибок вимірювань у БП РЛК:

а) з малою базою; б) з великою базою

Таке пояснення переваги великих баз діє безпосередньо при об'єднанні інформації з РЛС про параметри руху КО на рівні траєкторій.

Крім того, подібне розміщення сенсорів у системі дає можливість ефективно вирішити низку важливих частинних завдань.

По-перше, визначення параметрів орбіт КО багато в чому залежить від точності оцінювання швидкості зміни кутових координат цілі, що в існуючих РЛС розвідки космічного простору здійснюється незадовільно [7]. Цей недолік у БП РЛК з великими базами можна усунути за рахунок надмірної, більш точної інформації (дальність до цілі вимірюється точніше за кутові координати) і однозначності розв'язку геометричної задачі визначення місцеположення КО в просторі на основі вимірювань у БП РЛК.

По-друге, серйозним недоліком інформації в РЛС метрового діапазону є наявність повільнозмінних похибок у вимірюваннях, в основному, кутових координат. Усунути їх вплив у БП РЛК з великими базами можна як при об'єднанні векторів одиничних вимірювань при введенні додаткових параметрів в умову багатоточкової крайової задачі, так і при об'єднанні векторів параметрів орбіт КО на першому етапі обробки інформації за рахунок її надмірності.

Узагальнені принципи побудови БП РЛК контролю космічного простору з великими базами зведено в табл. 1.

Таким чином, для вирішення завдання високоточного визначення параметрів руху КА принциповим у побудові БП РЛК є його великобазовість. Активний режим роботи кожної позиції комплексу дає можливість, наприклад, при використанні РЛС типу 5Н86-М визначити до п'яти координат цілі в кожний момент вимірювання, що дозволяє отримати надмірність інформації та просторовий погляд на об'єкт локації з різних напрямів.

Таблиця 1

Принципи побудови БП РЛК контролю космічного простору

Принцип побудови	Визначення
За дислокацією	Наземний стаціонарний
За призначенням	Слідкувального типу
За типом вимірювачів (методом радіолокації)	Активні радіолокаційні станції з фазованими антенними решітками
За рівнем автономності прийому сигналів вимірювачами	РЛС з автономним прийомом
За способом формування та оброблення сигналів	Імпульсний, багатоканальний, некогерентний
За величиною баз	З великими базами
За кількістю виміряних координат	Три просторові координати в місцевій системі координат кожного вимірювача
За параметрами оцінювання	Вектор параметрів руху КО в орбітальній системі координат
За похибками вимірювань	Похибки адитивні, некорельовані з нормальним законом розподілення
За ступенем комплексування даних	Просторово некогерентний комплекс
За етапом комплексування даних	На етапі вторинного оброблення даних вимірювання

Перевагами побудови БП РЛК з великими базами на основі активних РЛС є: надмірність інформації, яка при рознесенні позицій на відстань, співмірну з дальністю до КА, дає можливість підвищити точність і достовірність оцінювання параметрів руху цілі;

отримання даних про цілі з різних просторових напрямів, що забезпечує істотне рознесення позицій, дає можливість значно підвищити точність визначення параметрів руху КО при будь-якому варіанті об'єднання інформації з позицій у БП РЛК.

Висновки. З метою високоточного визначення параметрів руху КО розроблено принципи побудови БП РЛК з великими базами системи контролю й аналізу космічної обстановки. Стверджується, що з метою максимально ефективного використання інформації, яка міститься в просторовій структурі електромагнітного поля, найбільш доцільною в системі контролю космічного простору є побудова БП РЛК з великими базами, створених на основі активних РЛС з автономним прийомом відбитих сигналів, вимірюванням усіх просторових координат та комплексуванням даних на етапі вторинної обробки радіолокаційної інформації. Перевагою запропонованого є надмірність інформації та отримання даних про положення цілі з різних, суттєво рознесених просторових напрямів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Загальнодержавна цільова науково-технічна космічна програма України на 2013–2017 роки [Електронний ресурс] / Верховна Рада України. – Режим доступу : <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/439-18#n12> - 15.01.14 г. – Загол. з екрана.
2. Концепції реалізації державної політики у сфері космічної діяльності на період до 2032 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
3. Медич Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление / Дж. Медич ; под ред. А. С. Шаповалова ; пер. с англ. – М. : Энергия, 1973. – 440 с.
4. Харин Ю. С. Практикум на ЭВМ по математической статистике: Для мат. спец. ун-тов / Ю. С. Харин, М. Д. Степанова. – М. : Изд-во "Университетское", 1987. – 304 с.
5. Журавин Ю. Совместная ПРО: аргументы за и против / Ю. Журавин, И. Маринин // Новости космонавтики. – 2007. – № 9. – С. 32–35.
6. Черняк В. С. Многопозиционная радиолокация / В. С. Черняк. – М. : Радио и связь, 1993. – 415 с.
7. Аверьянов В. Я. Разнесенные радиолокационные станции и системы / В. Я. Аверьянов. – Минск : Наука и техника, 1978. – 184 с.
8. Радиотехнические станции надгоризонтного обнаружения войск ПРН / Под ред. Ф. М. Андреева. – Х. : ВИРТА ПВО, 1983. – 444 с.

Подано 29.11.2016

Ф. М. Андреев, С. В. Ковбасюк

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ АКТИВНОГО МНОГОПОЗИЦИОННОГО РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА С БОЛЬШИМИ БАЗАМИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Рассмотрена проблема комплексного использования радиолокационных средств надгоризонтного обнаружения космических объектов. Определено, что единственными средствами разведки космического пространства являются активные радиолокационные станции. Основное внимание в статье уделено разработке принципов построения многопозиционных комплексов с большими базами, которые обеспечивают точное оценивание параметров движения сопровождаемых объектов при использовании в качестве источников информации грубых измерителей. Выходная информация измерительных средств контроля космического пространства является исходной для решения последующих задач в интересах безопасности и обороны государства.

Ключевые слова: космический объект, орбитальные параметры, контроль космического пространства, многопозиционный радиолокационный комплекс.

F. M. Andreev, S. V. Kovbasyuk

PRINCIPLES FOR CREATING ACTIVE MULTI-POSITION RADAR WITH LARGE DATABASES IN THE SYSTEM OF MONITORING AND ANALYSIS OF SPACE ENVIRONMENT

Considered the problem of integrated use of long-range detections radar of space objects. Determined, that the active radars are means of exploration of environment space. The article focuses on the development of principles of multi-position complexes with large databases. Such systems provide an accurate estimation of motion parameters of tracked objects and it used as information sources coarse gauges. The output of measuring means monitoring of environment space is the source for the solution of subsequent tasks in the interests of security and defense of the country.

Keywords: *space object, orbital parameters, monitoring of environment space, multi-position radar system.*