

УДК 621.396.946

О.М. Богдановський, О.П. Рачинський, О.Л. Павловський

Центр контролю космічного простору, Євпаторія

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ НАВЕДЕННЯ АНТЕННИХ ПРИСТРОЇВ НАЗЕМНИХ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ

У даній статті представлені результати експерименту при наведенні антен РТС наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами (КА) на основі використання представленого в [1] адаптивного методу підвищення точності супроводу космічних об'єктів, який заснований по двохетапній схемі супроводу з дотриманням розробленого критерію точності наведення [2].

**Ключові слова:** антена, точність наведення, радіотехнічна система, метод.

### Вступ

Особливу роль для вирішення завдань управління космічними апаратами (КА) займає якість і оперативність визначення параметрів руху космічних об'єктів. Проте, обмеженість території України і недостатня кількість вимірних засобів знижує оперативність оновлення і точність визначення параметрів орбітального руху КА. У умовах, що створилися, балістико-навігаційне забезпечення управління КА вимагає використання інформації всіх мірних витків обмеженого інтервалу часу. Пов'язані з даною проблемою питання запропоновано вирішити шляхом вживання методу підвищення точності наведення антен наземного автоматизованого комплексу управління (НАКУ) в особливих умовах [1]. У даній статті надані результати практичної реалізації розроблених алгоритмів [2] і методів по підвищенню якості функціонування наземної радіотехнічної системи (РТС) для малопунктної (однопунктної) системи управління КА.

**Постановка завдання.** Для визначення міри застосовності адаптивного методу наведення антен [1, 2] необхідне використання РТС, що працює в сантиметровому і міліметровому діапазонах довжин хвиль, що відповідає вузькій діаграмі спрямованості, ширина яких складає соті долі градуса. Відповідно, щоб уникнути зриву прийому радіосигналів, необхідна точність супроводу космічного апарату променем антени складає тисячні долі градуса [3]. Вибрана система крім того повинна задовольняти основним принципам тих, що розробляються РТС. Це відповідність складності і надійності, балансу точності, достатньої різноманітності елементів, наочності моделі для її розробника і споживача, блокової моделі і її динамічності.

**Мета статті.** На основі проведення експерименту провести аналіз результатів впровадження адаптивного методу наведення антенних систем (АС) РТС НАКУ КА.

**Аналіз літератури.** Результати проведених раніше досліджень і аналіз моделювання різних РТС,

розглянутий в роботах [3 – 7], вказують на необхідність аналізу результатів використання адаптивного методу наведення антен на предмет відповідності вимогам до перспективних РТС НАКУ КА [4, 5] і розробки науково-технічних пропозицій по його впровадженню.

### Викладення основного матеріалу

У попередніх публікаціях [1, 2] були розглянуті можливі шляхи рішення задачі підвищення якості супроводу КА антенною системою наземною РТС. Результатом проведених робіт став розроблений адаптивний метод, в основі якого лежить критерій точності наведення АС [2], що визначає перехідні процеси у використанні широкої і вузької діаграм спрямованості.

В ході виконання експериментальних досліджень, було поставлено за мету вирішити завдання практичної перевірки розробленого адаптивного методу наведення антен РТС, який здійснює раціональний прийом радіосигналів сантиметрового і міліметрового діапазонів довжин хвиль з КА залежно від зміни рівня радіосигналу, що приймається. При цьому досліджувалися особливості функціонування запропонованого методу наведення в різних умовах експлуатації системи.

Перш за все, для розробки адаптивної системи наведення антени (СНА) була вибрана РТС що задовольняє основним вимогам до тих, що розробляються РТС по складності і надійності, балансу точності і так далі.

Як відомо відповідно до принципів балансу точності вплив вважається малим, якщо що вноситься при видаленні блоку систематична погрішність знаходиться в межах допуску, визначуваного випадковими погрішностями вимірів [6] і помилками при завданні вихідних даних [7 – 9].

Таким чином, найбільш доцільним для проведення випробувань був визначений що полягає в наземному контурі управління КА радіотехнічний комплекс (РТК) "Квант-Д".

На обчислювальному центрі пункту розрахувалися цілевказівки [8, 10] для наведення АС П-2500 в розрахункову точку наведення при вугіллі місця ( $0^\circ \pm 10^\circ$ ) на висхідній і низхідній ділянках витка. Вибір точки спостереження визначили по наступних критеріях. При низьких кутах місця мала кутова швидкість і об'єкт знаходиться в діаграмі спрямованості ( $2' \div 3'$ ), також мала швидкість зміни доплерівського зрушення частот, що дозволяє спостерігати сигнал у вузьких смугах [10 – 12]. В той же час потрібний було враховувати, що при кутах місця менше  $5^\circ$  різко збільшуються шуми на вході приймальних пристроїв за рахунок попадання через бічні пелюстки діаграми спрямованості антени шумів земної поверхні [13], а також істотного впливу на екологію довколишньої території [13].

При високих кутах місця час спостереження різко скорочується, із-за різниці переміщення КА і антени по азимуту. Узгодження вказаних чинників і привело до значення кута місця ( $5^\circ \pm 6^\circ$ ), що вказує на тривалу тропосферну ділянку траси поширення сантиметрових і міліметрових радіохвиль, а, отже, і низьку (енергетичку) перешкодостійкість прийому [7 – 9].

Всі проведені спостереження підтверджують правильність експериментальної перевірки СВЧ і КВЧ АС РТС адаптивною методикою прийому випромінювання гетеродинів приймача удосконалюваним комплексом "Квант-Д" з АС П-2500. Дослідження показали, що точність наведення на об'єкт зростає, якщо початкова точка координат об'єкту

розташована ближчим до максимуму діаграми спрямованості антени, при цьому погрішність наведення не повинна перевищувати величини  $\Delta = 0,25^\circ$ , що повністю підтверджує відомі теоретичні виводи відносно кордону погрішності [2, 5, 8].

Таким чином, на основі розроблених програм і методики експериментальних досліджень запропонованою СНА РТС управління КА проведена комплексна практична перевірка працездатності розробленого методу, а також визначені особливості функціонування і основні технічні характеристики експлуатації запропонованої системи.

Виміряні значення ефективної максимальної площі в інтервалі кутів місця  $Z$  від 10 до 85 град. апроксимувалися функцією

$$S(z) = S_{\text{эф}} (1 - a \cos z)$$

де  $S_{\text{эф}}$  – ефективна площа антени в зеніті;  $a$  – коефіцієнт зменшення площі із-за недосконалості роботи системи фазової компенсації.

Виміряні дані шумової температури в зеніті  $T_{\text{ша}}$ , ефективній площі  $S_{\text{эф}}$  і ширини діаграми спрямованості (ДН) в кут. хв. в робочих діапазонах хвиль і для різних опромінювачів приведені в табл. 1.

Ширина діаграми спрямованості (ДС) в кутомістній і азимутних площинах однакова. Залежність шумової температури від кута місця в сантиметрових діапазонах хвиль (включаючи поглинання в атмосфері) для різних опромінювачів приведена в табл. 2 і на графіку 1 (рис. 1).

Таблиця 1

Значення шумової температури  $T_{\text{ша}}$ , ефективної площі  $S_{\text{эф}}$  і ширини діаграми спрямованості для різних опромінювачів РТ-70

Довжина хвилі, см	Шифр опромінювача	$S_{\text{эф}}$ , кв. м	A	$T_{\text{ша}}$ , $D_0$	Кут. хв.
32	ВУ394	1870	0	36	16,5
5	ВУ394	2340	0,028	21,6	2,6
5	ВУ395	2340	0,007	24,4	2,6
6	ВУ402	2660	0,0175	13,3	3,2
5	ВУ707	2574	0,009	14,1	2,6
3,5	ВУ708	2140	0,032	12	1,83

Таблиця 2

Залежність шумової температури  $T_{\text{ша}}$  від кута місця для різних опромінювачів РТ-70

Кут місця град.	Опромінювачі				
	ВУ394	ВУ395	ВУ402	ВУ707	ВУ708
6		52	42,2	38,1	39,2
10	42	45	31,9	30,2	28
20	33,5	35,5	21,3	23,1	20
30	29,4	32,4	18,5	20,2	17,5
40	27	30,4	16,9	18,7	15,4
50	25	28,6	15,7	16,9	14,2
60	23,7	27,1	14,6	15,5	13,3
70	22,7	25,6	14	14,5	12,5
80	21,8	24,8	13,5	14,2	12
90	21,6	24,4	13,3	14,1	12

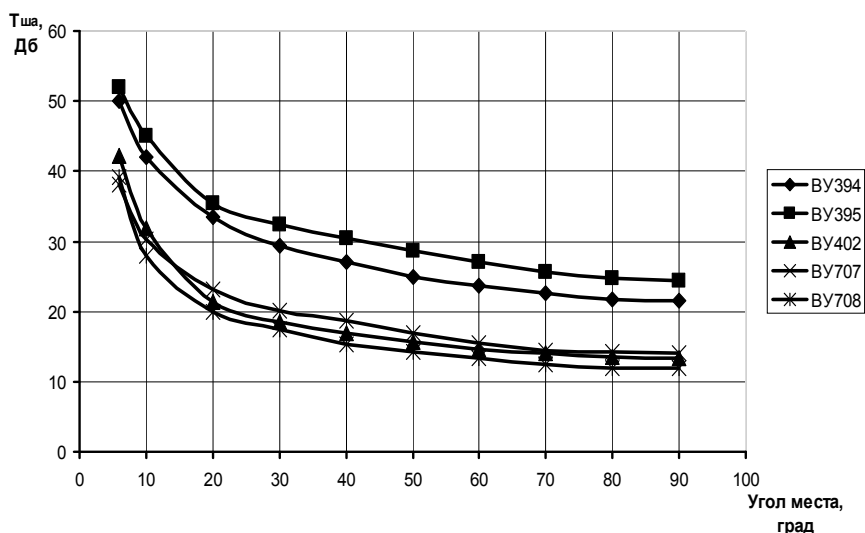


Рис. 1. Залежність шумової температури від кута місця в сантиметрових діапазонах хвиль



Рис. 2. Помилки відробітку закону руху КР по приводу корекції

Рух контррефлектора (КР) по приводу установки не викликає зсуву максимуму ДН, а величини помилок відробітку не перевищують 1,5 мм, що задовольняє вимогам технічних умов.

Відносно зсувів ДС, пов'язаних з помилками відробітку закону руху КР по приводу корекції (рис. 2), необхідно зробити наступне зауваження. Облік цих зсувів ДС в програмі наведення по куту місця необхідний в разі точної передачі кута місця антени на цифрові датчики зворотного зв'язку (ЦДОЗ). Проте, перші ж спроби того, що еталонує передачі кута місця антени на входні вали ЦДОЗ, встановлені на лівій (Н1) і правій (Н2) цапфах угломестной осі, показали велику нестабільність різниці відліків дійсного кута місця антени по геодезичних кутомірах в центрі основного дзеркала (ОЗ) і показниками датчиків. При цьому несправність ЦДОС виключена, оскільки перед тим, що еталонує все ЦДОС в комплекті з приєднувальними муфтами ВУ125 були перевірені на оптичному стенді, де показали лінійність відліків кута, що задавався, по всіх 20 робочим розрядам (до 1,25 угл. сек.) [93,96].

З врахуванням дефіциту часу об'єм геодезичних перевірок був обмежений уточненням і введе-

ням поправок в програму наведення лише за перпендикулярність осей антени і невертикальність її азимутної осі, а визначення законів передачі кутів установки антени по АЗ і УМ на входи ЦДОЗ було перенесене на етап аналізу вимірних помилок наведення ДС на радіоджерела.

У табл. 3 приведені радіотехнічні характеристики антени.

Таблиця 3

Динаміка радіотехнічних характеристик антени РТ-70

Опромінювач	Параметри		
	L, см	Seф max	Tшa(90), К
ВУ394	5	2500	22
	5	2340	21,6
ВУ394	32	2000	26
	32	1870	36
ВУ402	6	2770	16
	6	2660	13,3
ВУ400	5	2770	16
ВУ707	5	2574	14,1
ВУ708	3,56	2287	13,2
	3,56	2140	12

З табл. 3 витікає, що в сантиметрових діапазонах хвиль сталося зниження ефективної площі без помітної зміни шумової температури. Такий ефект викликається переміщеннями КР, що не компенсуються, фазовими спотвореннями, що викликаються зміною розрахункової геометрії і основного дзеркала (ОД) в процесі експлуатації. З порівняння даних для опромінювачів ВУ400 і ВУ402 початок змін розрахункової геометрії ОД не виявляється. Дані вимірів на хвилі 3,5 см з опромінювачем ВУ708 показують, що цей процес вже розвивався [3, 4, 6, 9].

### ВИСНОВОК

Таким чином, аналіз даних, отриманих в результаті проведення описаних експериментальних досліджень, дозволяє зробити вивід, що адаптивні АС СВЧ і КВЧ РТС практично реалізуються і працездатні на реально відомій радіоелементній базі. Крім того, визначено, що вживання для комплексу "Квант-Д" на низьких орбітах КА обмежено кутами місця  $7^\circ$ . Використання розробленої раціональної схеми наведення дозволяє забезпечити точність  $0,005^\circ$ . Досягнення такої високої точності за рахунок вживання механізму адаптації дозволить забезпечити упевнений прийом радіосигналу КА при вугіллі місця від  $0^\circ$  до  $7^\circ$ , унаслідок чого удасться збільшити час сеансу зв'язку на 12-15% і, відповідно, значно підвищити об'єм інформації, що приймається, з борту КА.

### Список літератури

1. Разработка методики наведения систем слежения радиотехнических средств контроля космического пространства при переходе антеннами области зенита / С.Е. Ломоносов, А.Л. Павловский, С.В. Герасимов, А.А. Подорожняк // Збірник наукових праць. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 2(20). – С. 50-52.
2. Ломоносов С.Е. Анализ критерия оценки точности сопровождения группировки разведывательных космических аппаратов при малопунктной системе измерительных средств контроля космического пространства /

С.Е. Ломоносов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2009. – Вип. 2(76). – С. 65-67.

3. Радиотехнические системы передачи информации / В.А. Борисов, В.В. Калмыков, Я.М. Ковальчук та ін. / под ред. В.В. Калмыкова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

4. Быстров Р.П. Миллиметровые волны в системах связи / Р.П. Быстров, А.В. Петров, А.В. Соколов // Радиоэлектроника. – 2000. – № 5. – С. 73-85.

5. Козелков С.В. Исследование путей повышения помехоустойчивости радиотехнических систем НКУ КА Украины / С.В. Козелков, С.А. Тыщук, Д.П. Пащков // Труды международной научно-технической конференции "Проблемы информатики и моделирования" (28-30 ноября 2002г.). – Х.: НАНУ, НТУ «ХПИ», 2002. – С. 57-59.

6. Козелков С.В. Пути повышения помехоустойчивости радиотехнических систем на основе адаптивной синхронной перестройки приемопередающего тракта / С.В. Козелков, Д.П. Пащков, С.А. Тыщук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 2003. – Вип. 6(22). – С. 216-219.

7. Белянский П.В. Управление наземными антеннами и радиотелескопами / П.В. Белянский, Б.Г. Сергеев. – М.: Сов.радио, 1980. – 280 с.

8. Кресснер Г.Н. Введение в системы космической связи / Г.Н. Кресснер, Дж.В. Михаэлс / пер с англ.; под ред. М.Г. Крошкина и В.В.Маркова. – М.: Связь, 1967. – 392 с.

9. Дитц Р.Х. Система связи и слежения космической станции / Р.Х. Дитц // ТИИЭР. – 1987. – Т. 75, № 3. – С. 118-132.

10. Покрас А.М. Системы наведения антенн земных станций спутниковой связи / А.М. Покрас, В.М. Цирлин, Г.Н. Кудяров. – М.: Связь, 1978. – 152 с.

11. Корсунский Л.Н. Распределение радиоволн при связи с искусственными спутниками Земли / Л.Н. Корсунский. – М.: Сов. радио, 1971. – 208 с.

12. Кравец В.Г. Основы управления космическими полетами / В.Г. Кравец, В.Е. Любинский. – М.: Машиностроение, 1983. – 224 с.

13. Радиотехнические системы передачи информации / В.А. Борисов, В.В. Калмыков, Я.М. Ковальчук та ін. / под ред. В.В. Калмыкова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

Надійшла до редколегії 18.11.2010

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

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА АДАПТИВНОГО МЕТОДА НАВЕДЕНИЯ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ НАЗЕМНЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

А.Н. Богдановский, А.П. Рачинский, А.Л. Павловский

В данной статье представлены результаты эксперимента при наведении антенн РТС наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами (КА) на основе использования представленного в [1] адаптивного метода повышения точности сопровождения космических объектов, которое основано по двухэтапной схеме сопровождения с соблюдением разработанного критерия точности наведения [2].

**Ключевые слова:** антенна, точность наведения, радиотехническая система, метод.

### RESULTS OF EXPERIMENT OF ADAPTIVE METHOD OF AIMING OF AERIAL DEVICES OF SURFACE RADIO ENGINEERINGS CONTROL THE SYSTEM BY SPACE VEHICLES

A.N. Bogdanovskiy, A.P. Rachinskiy, A.L. Pavlovskiy

In this article the results of experiment at aiming of aeriels are presented RTS the surface automated complex of management space vehicles (KA) on the basis of the use presented in [1] adaptive method of increase of exactness of accompaniment of space objects, which is founded on a twostage chart of accompaniment with the observance of the developed criterion of aiming exactness [2].

**Keywords:** aerial, aiming exactness, radio engineering system, method.