

УДК 621.3

А.П. Рачинский

Центр контроля космического пространства ГКАУ, Евпатория

## АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНОГО МЕТОДА НАВЕДЕНИЯ АНТЕННЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ НИЗКООРБИТАЛЬНЫМИ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ

В статье представлены результаты анализа возможности применения представленного в [1] адаптивного метода наведения антенн применительно к существующим антенным системам наземного автоматизированного комплекса управления (НАКУ) космическими аппаратами (КА).

**Ключевые слова:** метод, анализ, наведения антенн, управление космическими аппаратами.

### Введение

На современном этапе для повышения скорости и объемов информационного обмена в радиоканале управления КА необходимо использования более высоких диапазонов частот радиоволн, что приводит к необходимости обеспечивать повышенные требования по качеству обмена информации в радиоканале [2]. Это осуществляется за счет перехода в более высокие диапазоны радиочастот, что в свою очередь приводит к сужению ширины диаграммы направленности (ДН) антенны. Однако с уменьшением ДН возникает необходимость устойчивого сопровождения КА [1]. Поэтому представляется целесообразным разработать научно-технические предложения по повышению качества функционирования существующих радиотехнических систем (РТС) НАКУ КА за счет повышения точности наведения антенных систем [2].

**Постановка проблемы.** Одной из основных задач, обеспечивающих функционирование спутниковых систем различного назначения, является задача управления космическим аппаратом и, в частности, наведение антенных устройств радиотехнических систем [2]. При этом в сантиметровом и миллиметровом диапазоне волн ширина диаграммы направленности антенны составляет доли угловых минут и секунд [2]. Кроме этого, известно, что качество работы антенных устройств РТС зависит от суммарной точности, с которой осуществляется наведение антенны. Поэтому критерием качества работы системы наведения антеннами служит суммарная ошибка. Она является функцией времени, зависит от параметров системы наведения и характеристик управляющих и возмущающих сигналов, действующих на систему в процессе наведения на КА [3]. При этом наиболее эффективной работы она достигает при минимуме суммарной ошибки наведения.

**Анализ литературы.** Сравнительный анализ литературы [2,3] показал, что для повышения качества функционирования РТС управления КА необ-

ходимо исследовать особенности построения ее антенно-приемных устройств, а также провести анализ результатов и возможности использования адаптивного метода наведения антенн на предмет соответствия требованиям к перспективным радиотехническим системам НАКУ КА [4].

**Цель статьи.** На основе анализа особенностей работы антенных систем разработать адаптивный метод наведения антенных устройств для существующих антенн наземных средств НАКУ КА.

### Изложение основного материала

Рассмотрим состояние имеющихся в составе антенных систем РТС НАКУ КА. Антенные системы, применяемые в космической радиосвязи и в радиоастрономии, должны иметь высокий коэффициент усиления, чтобы обеспечить прием весьма слабых сигналов, диаметры раскрывов этих антенн достигают десятков метров. Между тем стоимость изготовления больших зеркал растет при увеличении диаметра раскрыва примерно пропорционально третьей степени диаметра [4, 5]. По некоторым оценкам стоимость антенн составляет 60% от общей стоимости РТС [5].

Проанализируем технические характеристики следующих антенных систем НАКУ КА: "Связник", "Квант-П", "Дельта-кедр".

Для подтверждения возможности применения антенных систем СВЧ и КВЧ диапазона произведем расчет диаграммы направленности, соотношения  $P_c/P_{ш}$ , коэффициента усиления. Эти три параметра однозначно определяют возможность применения антенной системы на данных диапазонах [2, 5].

Проведем расчет возможности применения антенной системы ПЗ0С, "ДЕЛЬТА", ТНА 57КР-02 на частотах 1,7 ГГц и 8,2 ГГц (см. табл. 1).

1) Ширину диаграммы направленности по уровню половинной мощности приближенно можно оценить по формуле:

$$\theta = 65^0 \dots 70^0 \lambda/d, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – рабочая длина волны,  $d$  – диаметр зеркала.

Расчет диаграммы направленности (ДН), соотношения  $P_c/P_{ш}$ , коэффициента усиления антенных систем

	d, м	S <sub>з</sub> , м	λ, см	θ	G, дБ
К7	8	50	17,6	1,4° ... 1,5°	40 ... 41
			3,7	0,18° ... 0,19°	54 ... 55
Дельта	2,5	5	17,6	4,6° ... 4,9°	30 ... 31
			3,7	0,57° ... 0,61°	43 ... 44
ТНА 57 КР-02	12	70	17,6	0,9° ... 1,0°	45... 46
			3,7	0,15° ... 0,2°	60... 61

Коэффициент усиления зеркальной антенны :

$$G = \text{КИП}4\text{П}S_3/\lambda^2, \quad (2)$$

где КИП = 0,5...0,6 – коэффициент использования поверхности,  $S_3 = \pi d^2/4$  – площадь зеркала.

2) Мощность сигнала на входе приемного устройства:

$$P_c = P_{\text{рпду}}G_{\text{рпду}}G_{\text{рпу}}\lambda^2/16\pi^2R^2L_a, \quad (3)$$

где  $P_{\text{рпду}}$  – мощность передатчика на борту КА,  $G_{\text{рпду}}$  – коэффициент усиления бортовой передающей антенны,  $G_{\text{рпу}}$  – коэффициент усиления приемной антенны,  $R$  – длина радиолинии,  $L_a$  – ослабление сигнала в атмосфере. Ослабление сигнала  $L_a$  определяется в основном потерями в тропосфере, а именно: потерями в газах (кислороде и водяном паре)  $L_r$ , ослаблением сигнала гидрометеорами (дождем, снегом и т.д.)  $L_d$ . На частотах 1,7 ГГц и 8,2 ГГц при угле места антенны  $Z=5^\circ$  имеем [2,4] :

$$L_a = L_r + L_d, \quad (4)$$

где  $L_a$ ,  $L_r$ ,  $L_d$  выражены в дБ.

Для диапазона 1,7 ГГц  $L_a = 0,4 + 1 = 1,4$  дБ,

Для диапазона 8,2 ГГц  $L_a = 1,0 + 5 = 6,0$  дБ.

Коэффициент усиления бортовой передающей антенны, определяем из расчета, что ширина ДН бортовой антенны  $\theta = 40'$ :

$$G_{\text{рпду}} = 1,6 \cdot 10^5 / (\theta)^2 = 100 = 20 \text{ дБ.}$$

$R$  – длина радиолинии, максимальная наклонная дальность при высоте орбиты 600 км составляет приблизительно 2300 км.

Мощность шумов на входе приемника:

$$P_{ш} = K T_{\Sigma} \Delta f_{ш}, \quad (5)$$

где  $T_{\Sigma}$  – эквивалентная шумовая температура приемного устройства с учетом внутренних и внешних шумов,  $\Delta f_{ш}$  – шумовая полоса приемника,  $\Delta f_{ш} \approx \Delta f_{\text{упч}}$ . Величина  $T_{\Sigma}$  равна:

$$T_{\Sigma} = T_{\text{аэ}} + T_0 [(1 - \eta_B) / \eta_B] + T_{\text{рпу}} / \eta_B, \quad (6)$$

где  $T_{\text{аэ}}$  – эквивалентная шумовая температура антенны,  $T_0 = 290 \text{ К}$ ,  $T_{\text{рпу}}$  – шумовая температура приемника;  $\eta_B$  – коэффициент передачи волноводного тракта.

Если считать, что УВЧ приемника расположен на антенне, то:

$$T_{\Sigma} = T_{\text{аэ}} + T_{\text{рпу}}. \quad (7)$$

В свою очередь  $T_{\text{аэ}}$  определяется как :

$$T_{\text{ША}} = T_{\text{ат}} + T_{\text{к}} + T_3 + T_{\text{ам}}, \quad (8)$$

где  $T_{\text{ат}}$  – шумы атмосферы;  $T_{\text{к}}$  – космические шумы;  $T_3$  – шумы земной поверхности и отраженные от нее шумы атмосферы;  $T_{\text{ам}}$  – шумовая температура, обусловленная потерями в материалах антенны (обычно составляет 0,07 К ... 0,4 К).

На частотах выше 6 ГГц основную роль играют шумы  $T_{\text{аэ}} + T_3$ ,  $T_{\text{к}}$  сказывается на частотах менее 6 ГГц [3,6]. Существуют антенны систем спутниковой связи, которые на частотах 4...6 ГГц имеют  $G = 50 \dots 60$  дБ,  $T_{\text{а}} = 40 \dots 60$  К при  $Z = 5^\circ$  [4].

Известно, что на частоте 1,7 ГГц  $T_{\text{к}}$  достигает 60 ... 70 К при  $Z < 10^\circ$ . Таким образом, можно оценить  $T_{\Sigma}$ :

– для диапазона 1,7 ГГц  $T_{\text{ША}} = T + T_3 + T_{\text{к}} = 100 \dots 130 \text{ К}$ ;

– для диапазона 8,2 ГГц  $T_{\text{ША}} = T + T_3 = 40 \dots 60 \text{ К}$ .

Современные транзисторы на основе As, Ga позволяют реализовать УВЧ с  $T_{\text{ша}} = 50 \dots 60 \text{ К}$ . Тогда суммарная шумовая температура:

– для 1,7 ГГц :  $T = 150 \dots 190 \text{ К}$ ;

– для 8,2 ГГц :  $T = 90 \dots 120 \text{ К}$ .

Шумовая полоса приемника приблизительно равна полосе пропускания УПЧ и составляет 15 МГц для системы на 1,7 ГГц и 64 МГц для 8,2 ГГц.

Расчет мощности сигнала и отношение  $P_c/P_{ш}$  на входе РПУ проведен для УМ  $Z = 5^\circ$ , первое значение соответствует большому  $T_{\Sigma}$  и меньшему  $G$ ,  $P_c$ ,  $P_{\text{рпду}}$ , второе – наилучшему сочетанию параметров (см. табл.2).

Общей оценкой качества работы любой системы наведения антенн (СНА) служит обеспечиваемая ей точность. Для каждого конкретного объекта управления точность наведения получает свое количественное выражение. Одним из основных показателей качества функционирования управляемых антенных систем служит [3, 6] абсолютное усиление антенны при работе в определенном диапазоне частот. В сантиметровом и миллиметровом диапазоне волн ширина диаграммы направленности таких антенн составляет доли угловых минут. Чтобы избежать потерь в потенциале радиолинии, антенны наводить нужно таким образом, чтобы работа происходила в непосредственной близости максимума диаграммы направленности антенны.

Расчет мощности сигнала и отношение Рс/Рш

		1,7 ГГц	8,2 ГГц
К7	Рс,(Вт)	(2,7 ... 17)10E-11	(3,0 ... 3,8)10E-12
	Рш,(Вт)	(3,1 ... 3,9)10E-14	(7,9 ... 10)10E-14
	Рс/Рш(дБ)	28 ... 37	15 ... 17
"Дельта"	Рс,(Вт)	(2,6 ... 16)10E-12	(2,4 ... 3,0)10E-13
	Рш,(Вт)	(3,1 ... 3,9)10E-14	(7,9 ... 10)10E-14
	Рс/Рш(дБ)	18 ... 27	3,5 ... 5,7
"ТНА 57КР-02"	Рс,(Вт)	(2,8 ... 18)10E-11	(3,4 ... 4,2)10E-12
	Рш,(Вт)	(3,1 ... 3,9)10E-14	(7,9 ... 10)10E-14
	Рс/Рш(дБ)	30 ... 39	18 ... 20

Анализ точности наведения антенных систем показал, что повышение динамической точности СНА требует расширения полосы, а это противоречит требованию к помехоустойчивости РТС. Так как расширение полосы СНА свыше определенного значения приводит не к увеличению, а к уменьшению точности наведения, поскольку в этом случае растут ошибки, вызванные различного рода шумами. Однако сужение полосы СНА может оказаться нецелесообразным из-за частых срывов наведения.

Для перспективных антенных систем необходима двухэтапная схема наведения, в которой используются СВЧ и КВЧ радиоприемные устройства.

Так на первом этапе «обнаружения» и «захвата» КА используем приемник для поиска широкой ДН, в случае обнаружения КА происходит подстройка широкой ДН на максимум, переход в режим «сопровождение». На втором этапе включается приемник для подстройки на максимум узкой ДН, входение в режим «сопровождение» узкой ДН. В случае срыва наведения, т. е. снижение уровня принимаемого сигнала ниже порогового значения, переходим к первому этапу.

Таким образом, чтобы удовлетворить требование  $\partial \left[ e_0^2 \right]_{\max} / \partial (\Delta V) = 0$ , представляется целесообразным использование режима автосопровождения с переключением приемников следящей системы антенны в режиме «обнаружения» и «захвата» широкой полосой пропускания, в режиме «сопровождения» - узкой полосой пропускания.

## Выводы

Таким образом, на основе предложенного метода проведена комплексная проверка возможности использования существующих антенных систем НАКУ КА в выбранных диапазонах частот, а также определены особенности функционирования и основные технические характеристики эксплуатации предлагаемой системы.

## Список литературы

1. Рачинский А.П. Методика наведения антенных устройств радиотехнических систем управления космическими аппаратами при переходе области зенита // Системы обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2003. – Вып. 2 – С. 179 – 183.
2. Справочник по антенной технике: В 5 т. / Под ред. Я.Н. Фельда, Е.Г. Зелкина. – М.: –Т.1. ИПРЖР, 1997. – 256 с.
3. Энергетические характеристики космических радиолиний / Под ред. О.А.Зенкевича. – М.: Сов. радио, 1972. – 436 с.
4. Козырев Н.Д. Антенны космической связи М.: Радио и связь, 1990.–159 с.
5. Радиотехнические системы / Под ред. Ю.М.Казаринова. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
6. Бозелков С.В., Богдановский А.Н., Паиков Д.П., Рачинский А.П. Способ антенных измерений // Труды науч.-технич. конф. Первой НТК войск ПВО Украины. – Харьков.: ХВУ. – 1999. – С.230.

Поступила в редколлегию 2.11.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава.

## АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АДАПТИВНОГО МЕТОДУ НАВЕДЕННЯ АНТЕННИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ІСНУЮЧИХ АНТЕННИХ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИМИ АПАРАТАМИ

О.П. Рачинський

В даній статті представлені результати аналізу можливості використання адаптивного методу наведення антен стосовно існуючих антенних систем наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами.

**Ключові слова:** метод, аналіз, наведення антен, управління космічними апаратами.

## ANALYSIS OF APPLICATION ADAPTIVE ANTENNA DEVICES POSSIBILITY POINTING METHOD FOR THE EXISTING ANTENNA SYSTEMS OF THE GROUND-BASED AUTOMATED SPACECRAFT CONTROL COMPLEX

A.P. Rachinskiy

In this report the results of the analysis of the possibility of application of the adaptive antenna pointing method presented in (part 1) concerning the existing antenna systems of the ground-based automated spacecraft control complex are given.

**Keywords:** method, analysis, aiming of aeriels, management space vehicles.