

УДК 629.78: 661.1

Е.С. Козелкова

*ГП «Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления», Киев*

## **АНАЛИЗ ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ БАЛЛИСТИКО-НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ СРЕДНЕГО И ДАЛЬНОГО КОСМОСА**

*В статье проведен анализ оптимального метода траекторных измерений для баллистико-навигационного обеспечения управления космическими аппаратами двойного назначения среднего и дальнего космоса, позволивший определить направления развития соответствующей методики.*

**Ключевые слова:** *космический аппарат, радиоинтерферометр со сверхдлинной базой, радиотехнический комплекс.*

### **Введение**

Учитывая особенности решения навигационной задачи при управлении КА в условиях ограниченных географических возможностей (размещение только одного наземного РТК), метод траекторных измерений КА должен обеспечить размещение пунктов пространственно-временных измерений КА, геометрическую интерпретацию этих измере-

ний, анализ методических особенностей обработки полученной при этом информации, а также выбор средств для радиотехнической реализации этих измерений.

### **Основная часть**

Основу предлагаемого метода траекторных измерений КА представляют радиоинтерферометрические измерения со сверхдлинной базой (РСДБ-

измерения). При этом в качестве базы измерений используется расстояние между наземным РТК и бортовым РТК опорного КА, постоянно находящегося в зоне видимости наземного РТК. Реализация бортового РТК может представлять собою систему КА, расположенных на высоковытянутой эллиптической орбите ( $H \geq 200000\text{км}$ ) или систему КА, расположенных на геостационарной орбите ( $H = 36000\text{км}$ ) [1]. Учитывая относительную простоту технической реализации (в частности, для синхронизации радиосигналов [2]), представляется целесообразным выбрать размещение бортового РТК системы РСДБ-измерений на геостационарной орбите КА [3]. Геометрическая интерпретация предлагаемого метода траекторных измерений представляет собой двойную разность времени распространения радиосигналов от КА, опорного КА и опорного КИ (рис. 1).

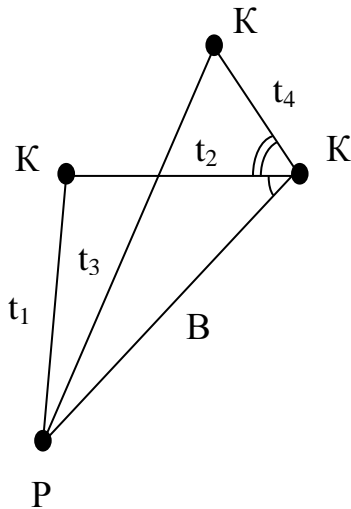


Рис. 1. Геометрическая интерпретация траекторной радиоинтерферометрической системы

Тогда РСДБ-измерения можно представить в виде

$$JF_{КА} - JF_{КА0} = (t_1 - t_2) - (t_3 - t_4),$$

где  $JF_{КА} = t_1 - t_2$  – разность времени распространения радиосигнала от наземного РТК до измеряемого КА и от измеряемого КА до опорного КА;

$$t_1 - t_2 = \frac{B \cos \alpha}{c},$$

где  $\alpha$  – угол между базой и направлением на измеряемый КА;  $c$  – скорость света,  $c = 2,99792458 \times 10^8$  м/с;  $B$  – база измерений;  $JF_{КА0} = t_3 - t_4$  – разность времени распространения радиосигнала от наземного РТК до опорного КИ и от опорного КИ до опорного КА.

$$t_3 - t_4 = \frac{B \cos(\alpha - \alpha_1)}{c},$$

где  $\alpha_1$  – угол между направлением от опорного КА до измеряемого КА и направлением от опорного КА до опорного КИ.

С достаточной степенью точности для  $JF$  измерений будет справедливо

$$JF = -\frac{B}{c} \sin \alpha \alpha_1. \quad (1)$$

Тогда соотношение для определения углового наклона КА относительно опорного КА (в проекции на базу) по измерению  $JF$  будет иметь вид

$$\alpha_1 = -\frac{cJF}{B \sin \alpha}. \quad (2)$$

Из выражения (2) видно, что ошибка измерения угла  $\alpha_1$  пропорционально зависит от ошибки  $JF$  измерения и при заданной его точности будет тем меньше, чем больше величина  $B \sin \alpha$ . Для получения лучших точностных характеристик траекторных измерений КА желательно, чтобы соответственно длина  $B$  и угол  $\alpha$  были как можно больше.

Учитывая место размещения опорного КА на геостационарной орбите, в предложенном методе траекторных измерений достигается база измерения значительно превосходящая максимально возможную базу измерения при использовании в РСДБ-измерениях только наземных РТК.

РСДБ-измерения с двух пересекающихся баз, дающие угловое положение объекта на небесной сфере дополняются измерением третьей координаты – дальностью до КА. В этом случае получается весьма ценное для практики эксплуатации КС полное пространственное определение КА. В предельном варианте, использование даже двух таких троек измерений позволяет решить навигационную задачу управления КА.

Основываясь на РСДБ наблюдениях излучаемого КА сигнала, можно измерить его кросс-корреляционную функцию и оценить ее основные параметры, необходимые для решения навигационной задачи [1]: фазу интерференции –  $\Phi(t, f)$ ; частоту интерференции

$$f_u = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi}{dt};$$

групповую геометрическую задержку

$$\tau_q = \frac{1}{2\pi} \frac{d\Phi}{dv},$$

где  $t$  – время,  $f$  – частота входного сигнала.

Формальная ошибка измерения групповой геометрической задержки зависит от среднеквадратической синтезированной полосы частот  $\Delta V_e$  и отношения сигнал/шум  $h_{кр}$  на выходе коррелятора

$$\sigma_\tau = \frac{1}{2\pi \Delta V_e h_{кр}}, \quad (3)$$

где  $\Delta V_e = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k V_i^2}$  – среднеквадратическое значение полосы частот для  $k$ -канального синтеза полосы сигнала на частотах  $V_i$ .

Для одноканального приема

$$\Delta V_e = \frac{\Delta V}{\sqrt{12}}.$$

Отношение сигнал-шум на выходе коррелятора в общем виде определяется известным соотношением, в котором числитель определяет сигнал, а знаменатель – шум:

$$h_{кр} = \frac{\sqrt{T_{AM} T_{AN}} \int_{-\infty}^{\infty} H_m(v) H_n^*(v) dv}{\sqrt{(T_{AM} + T_{SM})(T_{AN} + T_{SN}) + T_{AM} T_{AN}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\Delta V_{LF} \int_{-\infty}^{\infty} |H_m(v)|^2 |H_n(v)|^2 dv^2}}, \quad (4)$$

где  $T_{AM}, T_{AN}$  – эквивалентные шумовые температуры сигнала источника на антеннах  $m$  и  $n$ ;

$T_{SM}, T_{SN}$  – эквивалентные шумовые температуры антенно-приемного устройства (АПУ);

$H_m(v), H_n(v)$  – частотные характеристики фильтров промежуточной частоты;

$\Delta V_{LF}$  – ширина полосы частот низкочастотного фильтра на выходе коррелятора.

При  $T_A \ll T_S$  и  $2\Delta V_{LF} = \frac{1}{\tau_a}$  получим

$$h_{кр} = \sqrt{\frac{T_{AM} T_{AN}}{T_{SM} T_{SN}}} 2\Delta V_{LF} \tau_a,$$

где  $\Delta V_{LF}$  – ширина прямоугольной функции  $H_m(v)$  и  $H_n(v)$ .

Для случая РСДБ наблюдения КА в выражениях (3) и (4) величины  $\Delta V_e$  и  $h_k$  связаны с излучаемым КА квазидетерминированным сигналом: монохроматическим, периодическим или псевдослучайным.

## Выводы

В общем виде задача РСДБ измерений КА аналогична задаче спектральных радиоинтерферометрических измерений, поскольку спектр мощности сигнала КА ограничен и не имеет постоянной спектральной плотности как в случае КИ со сплошным равномерным спектром в рабочем диапазоне частот. В связи с этим методика измерения частоты интерференции и геометрической групповой задержки для КА нуждается в уточнении, поскольку фазовый спектр комплексного кросс корреляционного спектра, по наклону которого определяется групповая задержка, не может быть просто аппроксимирован прямой линией и является сложной функцией частоты.

## Список литературы

1. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных / П.А. Агаджанов, Н.М. Барабанов, Н.И. Буренин и др.; под ред. П.А. Агаджанова, В.Е. Дулевича, А.А. Коростелева. – М.: Сов. радио, 1964. – 504 с.
2. Козелков С.В. Метод траекторных радиоинтерферометрических измерений космического аппарата / С.В. Козелков // Информационные системы: сб. научн. труд. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ, 1999. – Вып. 1(12). – С. 146-151.
3. Калашиников Н.И. Системы связи через искусственные спутники Земли / Н.И. Калашиников. – М.: Связь, 1969. – 383 с.

Поступила в редколлегию 23.04.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Клыжуба, Харьков.

## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ТРАЄКТОРНИХ ВИМІРІВ ДЛЯ БАЛІСТИКО-НАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ СЕРЕДЬНОГО І ДАЛЕКОГО КОСМОСУ

К.С. Козелкова

У статті проведений аналіз оптимального методу траєкторних вимірювань для балістико-навігаційного забезпечення управління космічними апаратами подвійного призначення середнього і дальнього космосу, що дозволив визначити напрями розвитку відповідної методики.

**Ключові слова:** космічний апарат, радіоінтерферометр з наддовгою базою, радіотехнічний комплекс.

## ART REVIEW OF OPTIMUM METHOD OF THE TRAJECTORY MEASUREMENTS FOR BALLISTIKO-NAVIGATION PROVIDING OF MANAGEMENT OF SPACECRAFT DOUBLE-DUTY OF MIDDLE AND DISTANT SPACE

Ye.S. Kozelkova

In the article the analysis of optimum method of the trajectory measurements is conducted for the ballistiko-navigation providing of management the space vehicles of double-duty of middle and distant space, allowing to define directions of development of the proper method.

**Keywords:** space vehicle, radiointerferometer with a overlenght base, radio engineering complex.