

# Калибровка антенно-фидерного тракта в системе ориентации

УДК 629.78

**А.В. ВОРОПАЕВА, инженер-исследователь 3-й категории АО “Российские космические системы”**

## Калибровка антенно-фидерного тракта в системе ориентации *Calibration of the antenna-feeder path in the orientation system*

Система ориентации подвижного объекта предполагает установку на объект, испытывающий значительные ускорения по курсу, тангажу и крену (углы Эйлера), четырехходового навигационного приемника и жесткую раму с четырьмя антеннами, соответствующими каждому входу приемника. Такая система при использовании в обработке первой разности псевдодалности по фазе несущей позволяет раскрывать фазовую неоднозначность при заданной доверительной вероятности не менее 0,999999 при использовании обычных многоходовых навигационных приемников без усреднения фазовых неоднозначностей, то есть за один отсчет. Однако использование первой разности псевдодалности по фазе несущей требует калибровки антенно-фидерного тракта системы ориентации с высокой точностью, что сделать весьма непросто.

Предложен способ калибровки, основанный на оценке неизвестных задержек антенно-фидерного тракта неподвижной системы ориентации (рамки с антеннами) в течение некоторого времени при высокоточной оценке углов Эйлера системы, использующей алгоритм ориентации с разрешением целочисленной неоднозначности второй разности псевдодалности по фазе несущей.

Материал статьи будет полезен специалистам в области спутниковой навигации, геодезии и смежных дисциплин.

*A mobile object orientation system involves installing a four-input navigation receiver and a rigid frame with four antennas corresponding to each receiver input on an object experiencing significant accelerations in yaw, pitch, and roll (Euler angles). This system, when using carrier-phase pseudorange first differences in processing, allows for the resolution of phase ambiguities with a specified confidence level of at least 0.999999 using conventional multi-input navigation receivers without averaging phase ambiguities, i.e., within a single sample. However, using carrier-phase pseudorange first differences requires high-precision calibration of the attitude control system's antenna-feeder path, which is quite challenging.*

*A calibration method is proposed based on estimating unknown delays in the antenna-feeder path of a fixed attitude control system (a frame with antennas) over a certain period of time, with a highly accurate estimate of the system's Euler angles using an attitude control algorithm with integer ambiguity resolution of the second-order pseudorange differences based on the carrier phase.*

*This article will be useful to specialists in satellite navigation, geodesy, and related disciplines.*

**Ключевые слова:** углы Эйлера, псевдодалность по фазе несущей, первая и вторая разность псевдодалности, разрешение фазовых неоднозначностей.

**Keywords:** Euler angles, carrier phase pseudoranges, first and second pseudorange differences, phase ambiguity resolution.

## Введение

Система ориентации динамичного объекта предполагает установку на объект четырехходового навигационного приемника, испытывающего значительные ускорения по курсу, тангажу и крену (углы Эйлера), и жесткой рамы с четырьмя антеннами, соответствующими каждому входу приемника.

Для измерений в навигационном приемнике используется высокоточная, но неоднозначная псевдодалность по фазе несущей [1]. Введем нумерацию антенн системы ориентации от 1 до 4, где первая антенна считается опорной, тогда номера антенны  $u$  имеют значение от 2 до 4.

С 2023 года Российская Федерация начала запуск спутников “Глонасс-K2”, излучающих в диапазонах L1, L2 и L3 сигналы, которые используют как традиционное частотное разделение, так и кодовое, аналогичное GPS [2]. Так как задачи оценки ориентации для систем с кодовым разделением решаются проще, в статье будет рассматриваться обработка именно таких сигналов.

Из [3] известно: первая разность псевдодалности для рассматриваемых сигналов содержит мешающие параметры, которые устраняются калибровкой антенно-фидерного тракта всех приемников. Но выполнить это весьма трудно.

**Статью целиком читайте  
в бумажной версии журнала**