

Использование технологий ГНСС для определения параметров траектории спускаемых аппаратов на атмосферном участке движения

**© В. С. Васильев¹, М. А. Воронов¹, А. С. Быков²,
С. Ю. Медведев², Б. А. Сахаров²**

ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова», г. Нижний Новгород, Россия
ЗАО «ВРЕМЯ-Ч», г. Нижний Новгород, Россия

Известно, что движение спускаемых аппаратов в атмосфере со скоростями, превышающими несколько км/с, сопровождается возникновением пристеночной плазмы и ионизированными турбулентными течениями в донной области. В этих условиях при достижении спускаемым аппаратом некоторой высоты прием на его борту сигналов ГНСС становится невозможным. Тем не менее, сложно представить построение современных систем траекторных измерений без применения технологий ГНСС, в том числе для таких условий движения.

Представлен вариант определения параметров траектории спускаемых аппаратов на атмосферном участке движения с применением технологий ГНСС и сигналов, излучаемых бортовой телеметрической системой.

Ключевые слова: пункт приема дальномерных и телеметрических сигналов, пункт контроля и управления, координатно-временное обеспечение, аппаратура частотно-временной синхронизации, навигационные параметры, параметры движения.

Введение

В настоящее время в целях определения параметров движения различных объектов широко используется навигационная аппаратура потребителей (НАП).

Использование НАП в интересах определения параметров траектории спускаемых аппаратов на атмосферном участке движения не

представляется возможным из-за влияния пристеночной плазмы на распространение радиосигналов ГНСС.

В 70-х годах XX века специалистами НИИИС был запатентован способ построения разностно-дальномерной системы траекторных измерений с использованием сигналов телеметрической системы в качестве навигационных сигналов. Однако его точность на тот момент оказалась неприемлемой для практического использования. Во многом это было связано с погрешностями координатно-временного обеспечения пунктов приема таких сигналов.

В результате совместных работ ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова» и ЗАО «ВРЕМЯ-Ч» проработан вариант такой системы с использованием методов спутниковой геодезии, сигналов ГНСС для частотно-временной синхронизации, обеспечивающий достижение приемлемых погрешностей определения параметров движения спускаемого аппарата.

Структура системы

Спускаемый аппарат в одной полосе частот излучает телеметрический (ТМС) и дальномерный сигналы (ДС).

На пунктах приема дальномерных и телеметрических сигналов (ППДС) осуществляется их оцифровка, запись, запоминание и обработка с целью измерений навигационных параметров (НП).

ППДС размещаются в точках, координаты которых определяются с высокой точностью, и могут быть выполнены как в стационарном, так и в мобильном (перебазируемом), как в обслуживаемом, так и необслуживаемом исполнении.

В целях дистанционного управления ППДС в состав системы включен пункт управления и контроля (ПКУ).

ПКУ помимо функций управления работой ППДС обеспечивает:

- формирование шкалы времени системы, синхронизированной со шкалой времени ГНСС ГЛОНАСС;
- обработку измерений НП с целью определения параметров движения (ПД) спускаемого аппарата.

Структура предлагаемого варианта системы схематично представлена на рис. 1.

Структуры ППДС и ПКУ (без антенно-фидерных систем) приведены на рис. 2.

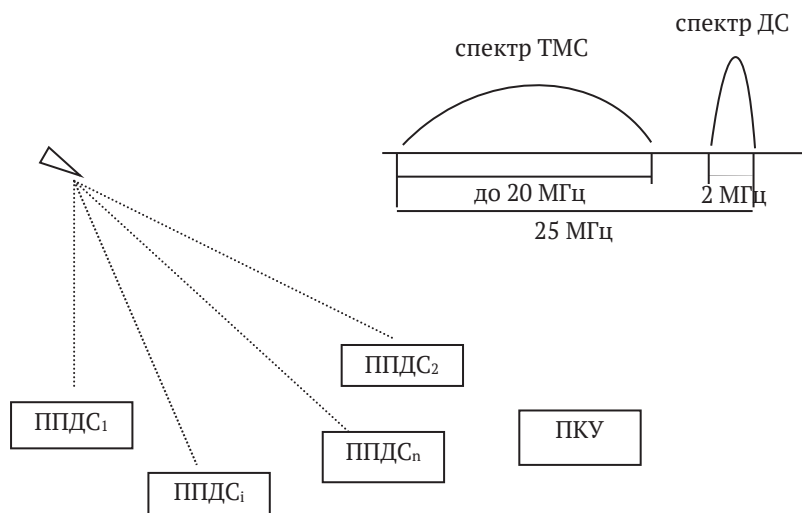


Рис. 1. Структура системы

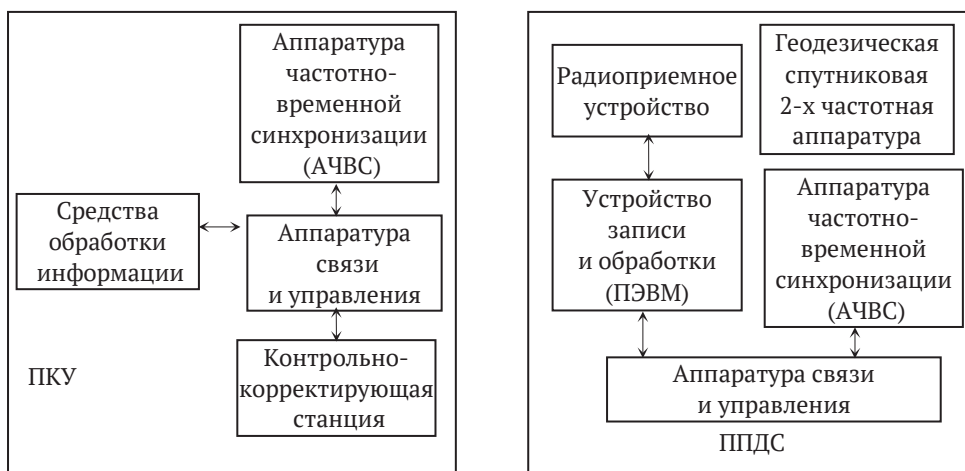


Рис. 2. Структуры ППДС и ПКУ

Высокоточное координатно-временное обеспечение системы

Предлагаемое техническое решение координатного обеспечения системы основано на использовании серийной аппаратуры АО «РИРВ» (г. С.-Петербург): спутниковой двухчастотной геодезической аппаратуры «Изыскание» и геодезической контрольно-корректирующей станции (ГККС). При использовании этой аппаратуры, вторых разностей измерений, выполненных на суточном интервале на частотах L1 и L2 и точных эфемерид длина базовой линии (расстояние от ГККС до определяемой точки) может быть определена с погрешностью (СКП) [1] от $0.03 \times D$ до $0.1 \times D$ мм/км, D — длина базовой линии в км.

Высокоточное частотно-временное обеспечение системы может быть реализовано на основе метода взаимных сличений шкал времени, формируемых аппаратурой частотно-временной синхронизации ПКУ и каждого из ППДС.

Аппаратная реализация метода предложена на базе серийной продукции ЗАО «ВРЕМЯ-Ч».

Использование в составе АЧВС ПКУ трех стандартов частоты и времени Ч1-1003М позволяет:

- повысить надежность;
- однозначно контролировать качество работы каждого из них на основе взаимных сличений, проводимых с помощью компаратора частотного VCH-314;
- обеспечить возможность формирования прибором Ч7-317 выходного ВЧ сигнала 10 МГц с относительной нестабильностью меньшей, чем относительная нестабильность выходных сигналов 5 МГц стандартов частоты и времени Ч1-1003М (т. е. менее $\pm 1 \times 10^{-13}$).

Особенностью приемников-синхронизаторов, предлагаемых к использованию в составе аппаратуры частотно-временной синхронизации ПКУ и ППДС, является реализация специального комплексного сигнала шкалы времени.

Комплексный сигнал шкалы времени представляет собой сигнал опорной частоты, модулированный кодовой последовательностью метки времени, максимум корреляционной функции которой будет соответствовать моментам времени, кратным 1 с. Этот сигнал позволит уменьшить до 0.1 нс дополнительную погрешность синхронизации внешнего оборудования, обусловленную «затяжкой» фронта синхроимпульсов 1 Гц.

Использование в составе АЧВС ППДС стандартов частоты и времени Ч1-1007 и метода взаимных сличений позволяет обеспечить по-

грешность (СКП) взаимной синхронизации шкал времени ПКУ и ППДС в пределах ± 2 нс при их взаимном удалении до 200 км, в том числе при отсутствии сигналов ГНСС на временном интервале 3 ч.

Ожидаемые погрешности определения параметров движения

Методика размещения пунктов приема дальномерных сигналов на местности, разработанная ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седакова», обеспечивает достижение значения пространственного геометрического фактора точности (PDOP) для заданного интервала движения спускаемого аппарата не более 4 и тропосферной составляющей погрешности измерений псевдодальностей не более 1.0 м.

В ходе проведенных проработок технического облика системы были выбраны структура и параметры дальномерных сигналов, обеспечивающие минимальные значения аппаратурных погрешностей измерений навигационных параметров (псевдодальностей и псевдоскоростей).

Ожидаемая суммарная погрешность (СКП) измерений псевдодальностей, включающая аппаратурную погрешность, а также составляющие, обусловленные условиями распространения сигналов и погрешностями координатно-временного обеспечения ППДС, не превышает 1.6 м.

При PDOP = 3 погрешности (СКП) координатных параметров движения спускаемого аппарата составят менее 5 м.

Заключение

Таким образом, в условиях воздействия на распространение сигналов пристеночной плазмы, представленные технические решения позволят определять параметры движения спускаемого аппарата с погрешностями, сопоставимыми с погрешностями навигационной аппаратуры потребителей, использующей открытые сигналы ГНСС.

Литература

1. Спутниковая двухчастотная аппаратура «Изыскание». http://www.rirt.ru/rubricator/?rid=82;good_id=89

**The Use of the GNSS Technologies
to Determine the Parameters of a Lander's Trajectory
During the Atmospheric Phase
of Its Motion**

**V. S. Vasilev, M. A. Voronov, A. S. Bikov,
S. U. Medvedev, B. A. Sakharov**

It is known that the motion of landers in the atmosphere with velocities exceeding a few km/s is accompanied by the appearance of the edge plasma of ionized and turbulent flows in the base region. Reception of the GNSS signals on board becomes impossible for the descent apparatus under these conditions after it reaches a certain height. However, it is difficult to imagine a modern trajectory measuring system (including for this kind of flight conditions) to be created without the use of the GNSS technologies.

We define the parameters of the lander's trajectory during the atmospheric phase of its movement using the GNSS technologies and signals emitted by the onboard telemetry system.

Keywords: point of reception of telemetry and ranging signals, control, positioning and timing support, instrument for time and frequency synchronization, navigation parameters, movement parameters.