

УДК 78.25.31.35.29

**В.Н. Авсиевич, А.В. Гребенников, В.И. Кокорин, В.Б. Новиков, И.Н. Сушкин**

## **ОПЫТ СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ГЛОНАСС/GPS**

*Рассмотрены материалы о навигационной аппаратуре, разработанной предприятиями г. Красноярска. Определена область применения данной аппаратуры и изложены принципы ее действия.*

Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) ГЛОНАСС обеспечивает высокоточную навигацию подвижных объектов. Наряду с возможностью нахождения координат и скорости, а также точного времени потребителя перспективным является использование ГНСС для определения пространственной ориентации объектов (углов азимута, тангажа и крена).

Рассмотрим материалы о навигационной аппаратуре, разработанной предприятиями г. Красноярска. В Красноярском государственном техническом университете (КГТУ) совместно с Государственным научно-производственным предприятием (ГНПП) "Радиосвязь" созданы следующие образцы навигационной аппаратуры.

Аппаратура МРК-11 обеспечивает измерение углов азимута, крена и тангажа с погрешностью 20 угловых минут на базе 1 м. Может использоваться на наземных, морских и воздушных объектах.

Аппаратура МРК-15 обеспечивает определение координат и скорости с гарантированной системой ГЛОНАСС точностью. Выпускается серийно и используется на командно-штабных машинах Р-149Б, на самолете Ан-2 в составе геофизической авиационной лаборатории.

Аппаратура МРК-17 выпускается серийно по группе 1, 8, используется в составе систем управления и установке на КШМ Р-149Б. Обеспечивает формирование высокостабильного опорного сигнала частотой 10 МГц.

Аппаратура МРК-18А - многоканальный приемник ГЛОНАСС/GPS. Обеспечивает работу по всем радиовидимым спутникам систем ГЛОНАСС и GPS, используется на авиационном транспорте.

Аппаратура МРК-19Л – многоканальный приемник, повышенной точности, комплексированный с датчиками-акселерометрами, используется на железнодорожном транспорте в составе навигационно-информационного комплекса. Выпущена партия МРК-19Л для оснащения локомотивов опытного полигона Красноярской железной дороги.

Аппаратура МРК-20 функционирует по системам ГЛОНАСС и GPS, предназначена для встраивания в бортовой интегрированный комплекс навигации и посадки воздушных судов различных типов.

МРК-23 – приемник ГЛОНАСС/GPS. Предназначен для частотно-временной синхронизации систем связи, а также сличения шкал эталонов времени. Формирует опорный сигнал 10 МГц с нестабильностью  $10^{-10}$  и аппаратную метку времени с погрешностью 100 нс.

ИССНС - имитатор сигналов спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. Обеспечивает настройку и испытания навигационной аппаратуры в заводских условиях и отладку алгорит-

мов работы разрабатываемых изделий, а также обеспечивает формирование сигнала любого навигационного космического аппарата (НКА) систем ГЛОНАСС и GPS, перестройку сигнала по задержке и доплеровскому сдвигу частоты. В имитаторе реализован режим отладки фазовых измерений сигналов несущих частот НКА при приеме на разнесенные в пространстве антенны с целью определения угловой ориентации подвижных объектов. В данном режиме предусмотрено формирование трех сигналов одного и того же НКА с регулируемым фазовым сдвигом между сигналами.

Разработанные изделия эксплуатируются на наземном, железнодорожном и авиационном транспорте. Испытания аппаратуры проведены в различных регионах мира на воздушных судах Ил-86, Ил-76, Ил-62, Ту-154, Як-40, Ан-26, Ан-2, Ми-8, в том числе на трансполярных трассах Красноярск – Девид – Черчилл - Красноярск на самолете Ил-76.

Сервисное программное обеспечение изделий типа МРК предназначено для решения штурманских задач, в том числе:

- ввода типа, кода, названия и координат поворотных пунктов маршрута (ППМ) (до 3000 ППМ); удаления и коррекции параметров, введенных ППМ;

- формирования трассы планируемого маршрута полета с использованием ППМ, предварительно введенных в базу данных;

- отображения на встроенном индикаторе в графическом виде текущего местоположения совместно с трассой текущего маршрута в масштабе от 0,1 до 1000 км;

- выдачи на индикатор названия точки цели с указанием азимута и дальности до нее;

- определения курса и скорости относительно земли;

- определения расчетного времени в пути и времени прибытия в точку цели;

- индикации отклонения от линии заданного пути.

Отличительной особенностью разработанной аппаратуры является использование фазовых методов измерения навигационных параметров. Эти методы позволяют существенно повысить точность измерения координат и скорости объекта. Кроме того, фазовые методы обеспечивают определение пространственной ориентации объектов, в частности, угломерный режим реализован в многофункциональной аппаратуре типа МРК-11 [1].

Аппаратура МРК-11 способна принимать сигналы на три разнесенные в пространстве антенны одновременно до 9 НКА, причем как НКА системы ГЛОНАСС, так и системы GPS в любых комбинациях. Работа одновременно по двум системам обеспечивает доступность большего числа НКА для измерений, что позволяет применять алгоритмы, использующие избыточность навигационного созвездия, а также повышает надежность работы аппаратуры при наличии местных углов закрытия радиовидимости НКА. По измеренным радионавигационным параметрам рассчитываются координаты и составляющие вектора скорости объекта, поправка к частоте и фазе опорного генератора, а также значения азимута, тангажа, крена и длины базы антенной системы.

Прием и перенос по частоте спектра принимаемых сигналов в аппаратуре МРК-11 производится единым для трех антенн радиотрактом, что обеспечивает исключение систематической погрешности измерения разности фаз между антеннами, вызванной неидентичностью приемных каналов. Для обеспечения приема сигналов от трех антенн одним радиотрактом использовано кодовое разделение сигналов с выходов антенн. Суммирование сигналов антенн производится в выносном блоке, расположенном непосредственно на антенной платформе. Основная обработка сигналов – свертка псевдослучайных последовательностей ГЛОНАСС и GPS, умножение на сигнал литерной частоты НКА ГЛОНАСС, умножение на опорные сигналы, перестраиваемые по частоте и фазе, производятся в цифровой части

аппаратуры - это обеспечивает распараллеливание каналов обработки сигналов различных НКА только на цифровом уровне, что повышает метрологические характеристики и надежность работы аппаратуры. МРК-11 имеет выход сигнала аппаратной секундной метки времени, погрешность привязки которой к шкале Государственного эталона времени и частоты не превышает 1 мкс. В аппаратуре МРК-11 предусмотрена подстройка частоты генератора, используемого в качестве опорного, что обеспечивает нестабильность частоты  $10^{-9} \dots 10^{-10}$ . МРК-11 имеет специальный выход опорной частоты, что позволяет использовать его в качестве высокостабильного генератора опорной частоты.

Погрешность определения пространственной ориентации зависит от базового расстояния между антеннами антенной системы аппаратуры и составляет единицы угловых минут (СКО) при базе 2 м. Для разрешения начальной фазовой неоднозначности применяется комбинация динамического метода и метода максимального правдоподобия, использующего избыточность измерений.

Динамические методы разрешения фазовой неоднозначности [2,3] характеризуются простотой реализации, их можно применять на больших базах. Различают два типа динамических методов:

- 1) использующий движение навигационных спутников;
- 2) использующий движение объекта-потребителя.

Для реализации динамического метода, использующего движение навигационных спутников, требуется некоторое время для достаточного фазового набега при неподвижной антенной системе. Это время может составлять от 5-10 мин при наличии априорной информации (длине базовых линий, величине аппаратурных систематических погрешностей и т.д.) до нескольких десятков минут. Во втором динамическом методе набег фаз между антеннами достигается за счет поворота антенной платформы в пространстве. Испытания показали, что для надежной синхронизации при базе 1 м необходим поворот антенной платформы на угол  $45-90^\circ$ .

В реальных условиях трудно обеспечить реализацию обоих динамических методов, поскольку обычно реальные объекты не стоят на месте, и в то же время не совершают достаточно больших маневров (например, движение автомобиля, самолета и т.д.). Такие условия можно создать специально при инициализации аппаратуры, например, при подготовке самолета к полету, однако в полете могут возникнуть трудности при необходимости переинициализации в результате потери спутников, сбоя аппаратуры и др.

От подобных недостатков свободен метод максимального правдоподобия, в котором для устранения фазовой неоднозначности используются одномоментные измерения фазовых сдвигов между антеннами. В этом методе для разрешения фазовой неоднозначности используется избыточность навигационного созвездия. При этом перебираются все возможные комбинации фазовых неоднозначностей, и из них выбирается та, при которой значение функции правдоподобия минимально. Для уменьшения числа исходных комбинаций используются априорные сведения о длине базовых линий, значений аппаратурных систематических погрешностей и при дальнейших измерениях - предыдущие значения неоднозначностей. Недостатком данного метода является большой объем вычислений, это объясняется значительным числом возможных комбинаций фазовых неоднозначностей; их число с увеличением базы резко возрастает, поэтому данный метод затруднительно применять при больших базовых линиях. В аппаратуре МРК-11 метод максимального правдоподобия применяется на базах до 1 м.

На базах более 1 м для разрешения фазовой неоднозначности применяется комбинация статического и динамических методов. Испытания показали, что для разрешения неоднозначности на базах, равных 3 м, требуется время не более 1 мин.

Испытания МРК-11 проводились в КГТУ (Красноярск), в МВТУ им. Н.Э. Баумана (Москва), во ВНИИ «Сигнал» (Ковров), в Главном управлении навигации и океанографии МО РФ (С. Петербург), в Сибирском НИИ авиации им. А.С. Чаплыгина (Новосибирск). Погрешность измерения угловой ориентации составляет:

на базе 0.7 м по азимуту - 15 угл. мин, по тангажу и крену - 20 угл. мин,

на базе 3 м по азимуту - 3 угл. мин, по тангажу и крену - 6 угл. мин.

Испытания МРК-11 показали, что погрешность измерения, кроме шумовой (высокочастотной) составляющей, содержит медленно меняющуюся (низкочастотную) составляющую. Интервал корреляции низкочастотной составляющей погрешности может составлять 0,1 - 1 ч. В отличие от высокочастотной составляющей она не может быть уменьшена путем дополнительного усреднения и поэтому определяет потенциальную точность измерения углов для данной аппаратуры. Указанная погрешность обусловлена в основном влиянием отраженных сигналов и неидентичностью приемных антенн.

Аппаратура МРК-11 обеспечивает фазовые измерения псевдодалности на несущей частоте сигнала НКА, что позволяет производить высокоточные измерения относительных координат. Высокая точность измерения радионавигационных параметров позволяет использовать МРК-11 в качестве навигационного приемника дифференциальной станции ГЛОНАСС/GPS.

В авиационном варианте навигационная аппаратура МРК-11 может использоваться для выравнивания самолета при заходе на посадку или при подлете к заданной точке; при аэрофотосъемке; для обеспечения взлета и посадки на авианесущих крейсерах самолетов и вертолетов охранения; для измерения опасных деформаций корпуса; для обеспечения дозаправки в воздухе.

### Список литературы

1. *Многофункциональный* приемоиндикатор навигационной системы ГЛОНАСС / Гребенников А.В., Кокорин В.И., Новиков В.Б. и др. // Планирование глобальной радионавигации: Сб. тр. международной конференции. -М., 1995. -Т.2, с. 853-855.

2. *Патент* РФ №2105319. Способ угловой ориентации объектов по сигналам космических аппаратов глобальных навигационных спутниковых систем. / Чмых М.К., Фатеев Ю.Л. Оpubл. 1988, бюл. № 5

3. *Патент* РФ №2122217. Способ угловой ориентации по радионавигационным сигналам космических аппаратов. / Алешечкин А.М., Фатеев Ю.Л., Чмых М.К. Оpubл. 1998, бюл. № 32.

Стаття надійшла до редакції 10 жовтня 1999 року.