



# ВТ/6—СТАНЦИЯ ГЕНЕРАЦИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВOK GPS

Сергей Голубев, Михаил Качалин

Обзор глобальной системы местоопределения NAVSTAR и дифференциального метода навигационных измерений.

**Ч**еловечество с древних времен изобретало и совершенствовало инструменты и методы определения положения на земле и на море. Самое точное и доступное местоопределение осуществлялось по звездам и Солнцу. К сожалению, такая общеизвестная навигация имеет огромное количество недостатков. Мы не будем утомлять читателя их перечислением, однако отметим, что современная технология позволяет нам избавиться от многих неудобств.

В настоящее время развернуты и функционируют две глобальные навигационные системы на основе искусственных спутников Земли (ИСЗ). Первой была развернута американская система NAVSTAR GPS (Global Positioning System). Несколько позже Россия вывела в околоземное пространство спутники системы ГЛОНАСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система).

К нашему великому сожалению, до сегодняшнего дня не налажен выпуск малогабаритных и относительно дешевых датчиков для работы с российской системой, поэтому в данной статье мы обратим внимание читателей на американскую GPS и ее приложения в изделиях российской компании АО ПРИН.

Основой глобальной системы местоопределения (GPS) является созвездие из 24 спутников, находящихся на шести круговых околоземных орбитах с периодом около 12 часов. Оно спроектирова-

но таким образом, чтобы в любой точке Земли в любое время суток было видно не менее 4 спутников (реально для широты Москвы наблюдается до 12 спутников одновременно).

Каждый спутник излучает специальный навигационный сигнал на основе псевдослучайной последовательности (ПСЦП) по двум частотам. Кроме того, навигационный сигнал состоит из двух кодов, один из которых, более грубый, – открытый, так называемый C/A (Clear Aquisition) код, другой – защищенный, более точный Y-код для американских военных.

Среднеквадратическое отклонение (СКО) погрешностей определения горизонтальных координат находится в пределах 100 м при использовании общедоступного навигационного сигнала в автономном режиме.

Дальнейшее повышение точности связано с применением известного в радионавигации принципа дифференциальных навигационных измерений.

Дифференциальный режим GPS NAVSTAR (DGPS) дает возможность определить местоположение с точностью до 2-5 м в динамической навигационной обстановке и лучше 2 м – в стационарных условиях. Принцип DGPS состоит в следующем: опорный приемник GPS располагается в пункте с известными координатами (так называемая опорная станция – ОС), сравнивая известные координаты с измеренными, приемник GPS выработывает поправки. Поправки затем

передаются по радиоканалу потребителям, которые используют их для уточнения своих координат.

Дифференциальный метод наиболее эффективен, когда преобладающими погрешностями потребителя являются систематические ошибки, обусловленные внешними по отношению к приемнику причинами. Такая ситуация характерна для GPS. Основные источники погрешностей, определяемых приемниками координат, следующие.

1. Наиболее существенные погрешности обусловлены режимом селективного доступа (Selective Availability, S/A). Это ошибки искусственного происхождения, вносимые в сигнал на борту спутников с целью загробления навигационных измерений. Погрешности из-за влияния этого фактора составляют примерно 30 м (СКО).
2. Ионосферные задержки распространения сигналов связаны с прохождением через верхние слои атмосферы и приводят к ошибкам порядка 20-30 м днем и 3-6 м ночью. Для пользователей «военного» сигнала эта составляющая устраняется измерениями на двух частотах. Хотя навигационное сообщение, передаваемое с борта спутников, и содержит параметры модели ионосферы, компенсация фактической задержки в лучшем случае составляет 50%.
3. Тропосферные задержки распространения сигналов обусловлены прохождением через нижние слои атмо-

сферы. Величина этих погрешностей порядка 30 м, но они хорошо моделируются.

4. Эфемеридная погрешность – расхождение между фактическим положением спутника и его положением, рассчитанным по данным, полученным в составе навигационного сигнала, передаваемого с борта ИСЗ. Обычно такие погрешности не превышают 3 м. Одним из методов искусственного ухудшения точности системы (S/A) является загрузка данных о положении спутников. В таком случае величина ошибки в положении ИСЗ документально не определена.

5. Погрешность ухода шкалы времени спутника. Погрешности S/A и уходы шкалы времени компенсируются в дифференциальном режиме полностью. Погрешности вследствие задержек сигналов в атмосфере зависят от идентичности условий прохождения сигналов к ОС и потребителю и, следовательно, от расстояния между ними. Полностью компенсируются эти погрешности лишь для близко расположенных ОС и потребителя. Эфемеридная погрешность также лучше компенсируется на небольших удалениях пользователя от ОС. По этим причинам рабочая зона ОС обычно ограничена радиусом в 500 км.

## Оборудование опорной станции

Опорная станция включает в себя измерительный датчик GPS с антенной, процессор данных, передатчик данных с антенной и аппаратуру сопряжения (рис. 1).

Для организации ОС, как правило, применяют многоканальный приемник GPS, каждый канал которого отводится для отслеживания одного видимого спутника. Причиной непрерывного отслеживания каждого ИСЗ является то, что опорная станция должна «захватывать» данные спутниковых сообщений раньше, чем пользовательские приемники.

Передача дифференциальных поправок обычно ведется в соответствии с определенным стандартом. Наиболее распространенным является стандарт, разработанный Специальным комитетом Морской радиотехнической комиссии RTCM SC-104.

Отметим, что базовые DGPS ОС обычно имеют существенную стоимость. Компания ПРИН предлагает недорогие станции серии БТ/6. В них применяется шестиканальный приемник, имеющий возможность работы в режиме измерения

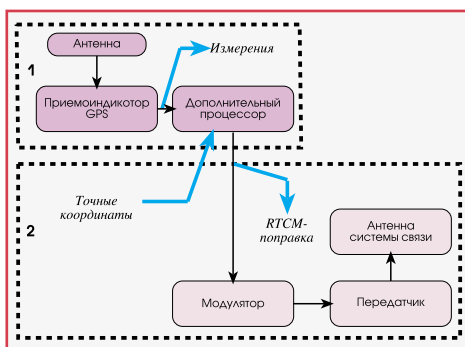


Рис. 1. Схема оборудования ОС

Условные обозначения:

1 - собственно опорная станция;

2 - связанная каналобразующая аппаратура.

псевдодальностей до 8 ИСЗ (технические характеристики приведены в табл.1).

## Аппаратура потребителя

Аппаратура потребителя включает приемник GPS с антенной, процессор данных, а также радиоприемник с антенной для получения дифференциальных поправок с опорной станции (рис. 2). Процессор данных вносит поправки, принятые от ОС, в результаты измерений приемника GPS.

Архитектура GPS-приемника может быть многоканальной или одно/двухканальной, использующей параллельный, последовательный или скоростной последовательный (мультиплексный) принцип слежения за спутниками. Для каждого спутника, сигналы которого поступают в приемник потребителя, поправка, полученная от ОС, прибавля-

ется к результату измерения псевдодальности. Сама поправка получается как сумма значений полученной поправки дальности и скорости изменения последней, умноженной на время, прошедшее с момента приема поправки до момента измерения псевдодальности потребителем:

$$PRC(t) = PRC(t(0)) + RRC(t(0)) \times (t - t(0)),$$

где  $PRC(t)$  – подлежащая внесению поправка,

$PRC(t(0))$  – поправка псевдодальности, передаваемая в сообщении,

$RRC$  – поправка псевдоскорости (скорости изменения поправки), передаваемая в сообщении,

$t(0)$  – временная привязка поправки,

$t$  – время измерения приемником потребителя.

## Назначение, состав и возможности опорных станций БТ/6С и БТ/6М

Опорная станция серии БТ/6 предназначена для определения и выдачи потребителям значений дифференциальных поправок, удовлетворяющих стандарту RTCM, в реальном масштабе времени.

Опорная станция серии БТ/6 состоит из следующих основных частей:

- антенна GPS,
- датчик-измеритель GPS,
- IBM PC совместимый компьютер, на котором выполняется специализированное программное обеспечение,
- блок питания,
- соединительные кабели.

Поставляются 2 варианта БТ/6.

Таблица 1

Основные характеристики ОС БТ/6, общие для БТ/6М и БТ/6С	
Количество каналов слежения за ИСЗ NAVSTAR	6
Количество одновременно отслеживаемых ИСЗ	8
Период обновления поправок типа 1 для 8 ИСЗ (с)	< 2
Типы генерируемых поправок стандарта RTCM, версия 2.1	1, 2, 3, 16
Точность генерируемых поправок, СКО (м)	0,3 - 1,5
Результирующая точность местоопределения на небольших (<30 км) расстояниях, PDOP* < 3, при оптимальной установке антенн GPS, СКО горизонтальных координат (м)	1,0 - 4,5
Используемый для системы передачи данных интерфейс	RS-232
Скорость обмена (бод)	50... 9600
* PDOP - фактор, характеризующий взаимное положение навигационных спутников.	

1. БТ/6С – программное обеспечение, предназначенное для установки на IBM PC совместимый компьютер общего назначения. В этом случае перечисленные части ОС конструктивно выполнены в виде отдельных блоков. Защита программного обеспечения от несанкционированного доступа осуществляется с помощью ключа, сделанного в виде заглушки, «прозрачной» для печатающего устройства, вставляемой в разъем интерфейса Centronics (параллельный порт).

2. БТ/6М – устройство, объединяющее в герметичном корпусе антенну GPS, защитный экран, служащий для уменьшения многолучевого эффекта, датчик-измеритель серии SVEeSix фирмы Trimble Navigation, промышленный компьютер MicroPC фирмы Octagon Systems и соединительную плату, содержащую блок питания и интерфейсные узлы.

БТ/6М (рис. 3) предназначен для развертывания ОС в полевых условиях, при отсутствии помещения, пригодного для установки

компьютера общего назначения. Благодаря герметичному исполнению эксплуатация данного устройства возможна в самых неблагоприятных погодных условиях. В БТ/6М не применяются носители с движущимися элементами (дискеты), что повышает его устойчивость к вибрационным воздействиям в процессе перевозки. Во время работы БТ/6М постоянно контролирует напряжение питания и при уменьшении его до 10 вольт начинает периодическую выдачу звукового сигнала наряду с текстовым сообщением в канал связи.

Оба варианта БТ/6 не требуют наблюдения оператора по окончании проведения

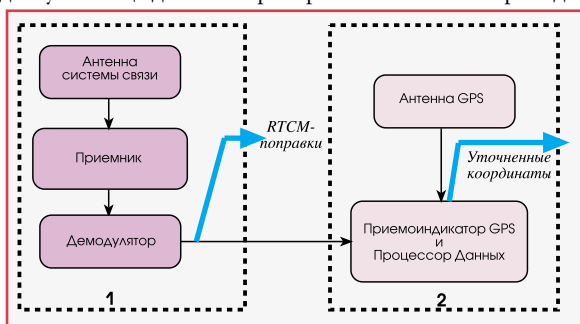


Рис. 2. Схема оборудования пользовательского комплекта

Условные обозначения:

1 - приемная связная аппаратура;

2 - приемник GPS с возможностью ввода RTCM-поправок.



Рис. 3. Внешний вид станции БТ/6М

ния пусковых работ после установки антенны на новом месте. Возможно также применение режима автоматического местоопределения, при котором никакое вмешательство не требуется и обслуживание системы может производиться неквалифицированным персоналом (только поддержание питания). Как БТ/6С, так и БТ/6М предусматривают возможность управления из удаленного пункта. ●