

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СПУТНИКОВЫХ  
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**А.А. Пушкарь**

**Научный руководитель: заведующий кафедрой, О.Н. Писецкая**  
**Учреждение образования «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия», кафедра геодезии и фотограмметрии,**  
**г. Горки, Республика Беларусь**

Спутниковые навигационные системы предназначены для определения местоположения (географических координат и высоты), а также параметров движения (скорости и направления движения и т. д.) для наземных, водных и воздушных объектов.

Современная спутниковая навигация основывается на использовании принципа беззапросных дальномерных измерений между навигационными спутниками и потребителем. Это означает, что потребителю передается в составе навигационного сигнала информация о координатах спутников. Одновременно (синхронно) производятся измерения дальностей до навигационных спутников. Способ измерений дальностей основывается на вычислении временных задержек принимаемого сигнала от спутника по сравнению с сигналом, генерируемым аппаратурой потребителя [4].

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) в том виде, в котором они существуют и используются сейчас, зародились в начале 1970-х годов, когда Советский Союз и США практически в одно время начали разработку глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. В настоящее время каждая из этих систем имеет на орбите полноценную орбитальную группировку навигационных космических аппаратов, которые обеспечивают предоставление услуг в глобальном масштабе.

Помимо системы ГЛОНАСС и GPS, работы по развертыванию глобальных навигационных спутниковых систем проводят Китай - система БЕЙДОУ, и страны Европейского союза - система ГАЛИЛЕО. Япония и Индия разворачивают региональные навигационные спутниковые системы QZSS и NavIC, соответственно [1].

Система ГЛОНАСС предназначена для определения местоположения, скорости движения и точного времени морских, воздушных, сухопутных транспортных средств и других видов потребителей. Она разрабатывалась и внедрялась как система двойного назначения, в первую очередь, для обеспечения национальной безопасности России, а также для решения гражданских научных и производственных задач. Система ГЛОНАСС создавалась с начала 70-х годов большой кооперацией научных гражданских и военных организаций. Первые космические аппараты серии ГЛОНАСС («Космос-1413», «Космос-1414», «Космос-1415») были выведены на орбиты 12 октября 1982 года. Запуск осуществляется ракетоносителями «Протон» с космодрома Байконур. В декабре 1995 года было завершено полное развертывание орбитальной группировки системы ГЛОНАСС, что позволило создать сплошное глобальное навигационное поле вплоть до высот 2000 км. Система ГЛОНАСС одобрена международными организациями морского флота (ИМО) и гражданской авиации (ИКАО), как один из элементов Глобальной навигационной спутниковой системы наряду с американской системой GPS. В 1994 году система ГЛОНАСС запатентована в США [3].

Американская система позиционирования GPS по своим функциональным возможностям аналогична российской системе ГЛОНАСС. Её основное назначение — высокоточное определение координат потребителя, составляющих вектора скорости и привязка к системной шкале времени. Аналогично отечественной, система GPS разработана для Министерства обороны США и находится под его управлением. Как и система ГЛОНАСС, GPS состоит из космического сегмента, наземного командно-измерительного комплекса и сегмента потребителей.

Европейский Союз (EU) и Европейское космическое агентство (ESA) ввели в эксплуатацию новую европейскую глобальную спутниковую навигационную систему Galileo («Галилео»). Существование второй полностью рабочей спутниковой системы GNSS обещает значительную выгоду для гражданских потребителей по всему миру. Запуск проекта Galileo позволит увеличить более чем в два раза количество рабочих навигационных спутников, доступных пользователям. Подобное увеличение количества спутников принесёт пользу не только при работе в автономном режиме, но и улучшит качество определения координат и способность GPS-аппаратуры разрешать неоднозначность по фазе несущей для отслеживаемого спутникового сигнала [3].

Правительство Индии одобрило 9 Мая 2006, проект развертывания Индийской Спутниковая Региональная Система Навигации (IRNSS) с бюджетом 14.2 миллиарда Рупий в течение следующих 6-7 лет. Спутниковая группировка IRNSS состоит из семи спутников на геосинхронных орбитах. Все семь спутников имеют непрерывную радио-видимость с Индийскими управляющими станциями. Государственная компания ISRO является ответственной за развертывание IRNSS, которая находится целиком под контролем Индийского правительства. Навигационные приемники, которые принимают сигналы IRNSS, так же разрабатывались и выпускались индийскими компаниями [3].

Идея создания китайской национальной региональной навигационной системы была предложена в 1983 году. Концепция системы, использующей два геостационарных космических аппарата (рабочее название системы Twinsat), прошла экспериментальную проверку в 1989 г. Эксперимент проводился на базе двух связанных космических аппаратов DFH-2/2A, уже находившихся на орбите. Первый этап создания системы Beidou (Beidou – Северный Ковш – китайское название созвездия Большой Медведицы) был начат в 1994 году. В 2000 году было запущено два геостационарных спутника: космический аппарат (КА) Beidou-1A (30 октября 2000) и Beidou-1B (20 декабря 2000). Аппараты системы Beidou-1 построены на базе связанной геостационарной платформы DFH-

3. 15 декабря 2003 китайская система Beidou первого поколения была сдана в эксплуатацию. Запуск третьего геостационарного спутника Beidou-1C в 2003 году улучшил эксплуатационные характеристики системы. Развитие системы Beidou второго поколения Beidou-2 началось в 2004 году. К концу 2012 года было запущено еще 14 спутников (5 геостационарных спутников, 5 спутников на наклонной геосинхронной орбите (ГСНО) и 4 спутника на средних орбитах), что позволило завершить развертывание орбитальной группировки. Третий этап – это создание системы третьего поколения Beidou-3, начат в 2009 году. Основной целью является обеспечение к 2018 году основных услуг для пользователей, находящихся на территории и акватории обоих Шелковых путей (сухопутного и водного), а также соседних регионов, и завершение развертывания орбитальной группировки из 35 КА, предназначенной для обеспечения услугами пользователей глобально к 2020 году [3].

Первоначально Японская QZSS была задумана в 2002 г. как коммерческая система с набором услуг для подвижной связи, вещания и широкого использования для навигации в Японии и соседних районах Юго-Восточной Азии. Первый запуск спутника для QZSS был запланирован на 2008 г. В марте 2006 Японское правительство объявило, что первый спутник не будет предназначен для коммерческого использования и будет запущен целиком на бюджетные средства для отработки принятых решений в интересах обеспечения решения навигационных задач. Только после удачного завершения испытаний первого спутника начнется второй этап и следующие спутники будут в полной мере обеспечивать запланированный ранее объем услуг [3].

Сигналы передаются на близких и частично перекрывающихся участках частотного спектра и обозначаемых символами L, G и E, обозначающими принадлежность системе.

Система GPS использует 5 сигналов  $L_1 \div L_5$  (в том числе  $L_3$  и  $L_4$  для военных пользователей и планируемый на 2010 г. сигнал  $L_5$ ), система ГЛОНАСС - два сигнала  $G_1$  и  $G_2$ , а система Galileo – 10 [2].

Выполнение высокоточных измерений с помощью спутниковых систем (GPS, ГЛОНАСС и др.) тесно связано со строгими определениями координатных систем, относительно которых выполняются измерения. Измеряемые навигационные параметры спутников глобальной, системы позиционирования и определяемые координаты спутниковых приемников отсчитываются в различных системах координат. В различных случаях в космической, спутниковой геодезии и астрономии используются прямоугольные (плоские и пространственные) и полярные (сферические и эллипсоидальные) системы координат. В зависимости от расположения начала координат различают геоцентрические с началом в центре масс Земли, геодезические с началом в центре референц-эллипсоида и топоцентрические с началом в точке на поверхности Земли. Ориентация координат задается в инерциальных звездных или геодезических системах. При спутниковых измерениях используются как правило две системы координат, одна из которых жестко связана с Землей (земная или геодезическая), а другая - с окружающим пространством (небесная или звездная).

Для построения математической модели движения спутника используется общеземная (планетарная) система координат, в качестве которой могут использоваться геоцентрические системы ITRS (Terrestrial Reference System), ITRF (ITRS Terrestrial Reference Frame), WGS-84 (World Geodetic System, 1984), ПЗ-90.02.

Передаваемые со спутников навигационные сообщения содержат не координаты спутника и изменения вектора его скорости, а относительно медленно меняющиеся параметры некоторой модели, которая аппроксимирует траекторию полета космического аппарата на достаточно большом интервале времени. Соответствующая обработка этих данных позволяет вычислить координаты спутника на нужный момент времени.

В системе GPS используется общеземная система координат WGS-84 и Кеплеровская модель движения с оскулирующими элементами. При этом траектория полета спутника разбивается на участки аппроксимации длительностью в один час.

В системе ГЛОНАСС для определения точного положения спутника используется общеземная система координат ПЗ-90.02 и дифференциальная модель движения, в которой координаты и составляющие вектора скорости спутника определяются численным интегрированием дифференциальных уравнений его движения, учитывающих конечное число действующих сил. Начальные условия интегрирования задаются на середину интервала аппроксимации.

В системе Galileo в качестве наземной опорной системы координат планируется использовать систему GTRF, независимую от WGS-84 и согласованную с ITRF. Описание этой системы, модели движения спутников на участке траектории и перечень параметров ее аппроксимации в технической литературе не приводится [2].

#### Литература

1. История развития ГНСС // Информационно-аналитический центр контроля ГЛОНАСС и GPS: <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/history.php> (Дата обращения: 14.12.2016).
2. Назаров А.С. Центр получения цифровых снимков и методы их фотограмметрической обработки. Минск: Учебный центр подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров землеустроительной и картографо-геодезической службы, 2009. 263 с.
3. Обзор глобальных навигационных систем // "ВСП Центр" - ГЛОНАСС и GPS мониторинг транспорта в Иркутске: <http://www.vspcenter.ru/glonass/system> (Дата обращения: 14.12.2016).
4. Принципы спутниковой навигации // Информационно-аналитический центр контроля ГЛОНАСС и GPS: <https://www.glonass-iac.ru/guide/navfaq.php#section7> (Дата обращения: 14.12.2016).