

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Представлена информация об основных принципах построения существующих глобальных и региональных навигационных спутниковых систем (ГНСС) и систем на этапе развертывания, в том числе информация о текущем состоянии их спутниковых группировок, наземного сегмента управления и сегмента потребителей, информация о сигналах, характеристиках и предоставляемых системами услугах.

Рассматриваются результаты анализа тенденций развития зарубежных систем спутниковой навигации, выявляются общие тенденции и направления развития, в числе которых использование межспутниковых каналов связи; возможность обеспечения навигации как в рамках одной, так и нескольких систем; увеличение числа соответствующих частот ГНСС GPS, ГЛОНАСС и Galileo до трех и более; увеличение проектного срока активного существования космических аппаратов (КА), наращивание противомехового потенциала и др. Представлена краткая история создания и развития СРНС в мире.

Введение

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS проектировались и создавались как средства военного назначения, но, поскольку открытые сигналы этих систем предоставляются всем потребителям на безвозмездной основе, гражданские применения ГНСС нашли самое широкое распространение во всем мире. Системы ГНСС становятся универсальным глобальным средством, которое используется для повышения эффективности практически всех отраслей экономики.

Ревников Сергей Георгиевич. Кандидат технических наук, начальник Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения ФГУП ЦНИИмаш (г. Королев Московской обл.)

Статья по докладу на XIX Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам.

Учитывая стратегическое значение ГНСС развитые страны приняли решение о создании своих собственных глобальных или региональных систем. В процесс «навигационной гонки» активно включились Евросоюз, Китай, Япония, Индия. При этом разработчиками заявляются достаточно амбициозные характеристики будущих систем. Учитывая двойное назначение ГНСС, США и Россия – обладатели систем GPS и ГЛОНАСС – также модернизируют свои системы для сохранения лидирующих позиций: применяются новые технологии, позволяющие существенно повысить точность, доступность, помехоустойчивость систем, повысить качество предоставляемых навигационных услуг, снизив уровень существующих угроз глобальной спутниковой навигации.

Появление новых «игроков» на мировой навигационной арене убеждает владельцев ГНСС в необходимости международной координации и интеграции усилий. С одной стороны, такая координация обеспечит взаимодополняемость всех ГНСС, что даст ощутимые выгоды потребителям при совместном использовании нескольких систем, с другой стороны, должна быть обеспечена совместимость систем, чтобы разные ГНСС не мешали работе друг друга, что важно для обеспечения навигационной независимости стран – обладателей систем.

Развитие применений глобальных навигационных спутниковых систем

Системы глобальной спутниковой навигации создавались как системы военного назначения. Однако уже с момента развертывания ГНСС, примерно с 1993–1995 годов, эти системы стали использоваться в гражданских областях, в основном в геодезии, землеустройстве, в научных исследованиях.

За последние пятнадцать лет значительно расширились области применений ГНСС, в первую очередь американской системы GPS, практически во всех отраслях экономики разных стран мира. Использование ГЛОНАСС в гражданских областях тормозилось в основном за счет двух факторов – чрезвычайной закрытости системы и инертности в осознании значения системы ГЛОНАСС для гражданских применений. Позже, во второй половине 90-х годов, применению системы ГЛОНАСС гражданскими потребителями помешала деградация орбитальной группировки, что было вызвано неблагоприятной экономической ситуацией в стране в этот период.

На сегодняшний день, когда система ГЛОНАСС полностью развернута, ее характеристики сопоставимы с характеристиками системы GPS. Обе системы используются практически во всех приемных навигационных устройствах – от высокопрофессиональной геодезической аппаратуры до бытовых навигаторов и смартфонов. Уже ни одна отрасль экономики сейчас не обходится без использования технологий спутниковой навигации. В транспортном секторе (авиация, морской и речной флот, железнодорожный и автодорожный транспорт) системы ГЛОНАСС и GPS используются как для решения задач навигации, так и для создания диспетчерских систем, систем управления транспортными потоками, контроля перевозок и сооружений транспортной инфраструктуры. ГНСС используются для высокоточной синхронизации, обеспечивая повышенную пропускную способность энергетических систем, систем связи и трубопроводного транспорта.

Традиционно ГНСС широко используются в геодезии, а также при проведении кадастровых и землеустроительных работ, строительстве дорог, прокладке трубопроводов и линий электропередач, разработке месторождений, в том чис-

ле на шельфе. Технологии спутниковой навигации широко используются в коммерческом секторе при создании телематических систем, систем охраны, контроля проезда по платным дорогам и остановок на парковках и др.

Большое значение технологии спутниковой навигации имеют в научной сфере, в первую очередь для решения фундаментальных задач при изучении фигуры Земли, ее динамики, поведения ионосферы, тропосферы, в метеорологии, изучении предвестников землетрясений. Все больше ГНСС внедряются в социальную сферу. Системы ГНСС и в будущем сохраняют свой статус систем двойного назначения. Тем не менее гражданские применения составляют уже более 90% рынка навигационных услуг.

Развитие требований потребителей

За последнее десятилетие точность навигационных систем улучшилась на порядок. В ближайшее десятилетие следует ожидать дальнейшего повышения точности навигационных определений с помощью ГНСС еще на порядок, до десятков сантиметров в абсолютном режиме без применения функциональных дополнений.

Уязвимость ГНСС к радиопомехам, снижение доступности в условиях ограничений прямой видимости навигационных спутников требует поиска дополнительных мер, повышающих надежность решения навигационных задач потребителем. Потребитель хочет гарантированно решать навигационные задачи в условиях плотной городской застройки и промышленных радиопомех, в горных условиях, в закрытых помещениях.

Специальные потребители ГНСС также выдвигают повышенные требования по точности позиционирования, оперативности решения навигационных задач, обеспечению 100%-ной доступности навигации в реальной обстановке. Особое значение придается помехоустойчивости ГНСС в условиях радиопротиводействия противника.

При проектировании систем ГЛОНАСС и GPS считалось достаточным обеспечить точность навигации по открытым сигналам на уровне 100 м. В реальности, к началу 2000-х годов точность позиционирования по системе GPS достигла порядка 10 м.

В настоящее время система GPS обеспечивает точность навигации по открытым сигналам на уровне 1–2 м (без учета ошибок распространения сигнала и ошибок самого навигационного приемника у потребителя). К концу нашего десятилетия всеми разработчиками глобальных навигационных спутниковых систем ставится задача обеспечить точность навигации порядка нескольких десятков сантиметров. И это вполне достижимо.

Системные требования

Системные требования, предъявляемые к ГНСС, являются отображением потребностей потребителей. К этим требованиям относятся повышение точности навигационных определений за счет «космического сегмента»; доступность навигационного поля, создаваемого сигналами ГНСС; оперативность входа в связь и решение навигационной задачи в условиях «холодного старта»; помехоустойчивость к воздействию естественных и искусственных радиопомех, в том числе преднамеренных.

Все эти требования обеспечиваются в результате слаженной работы всех составных частей ГНСС, в первую очередь ее орбитального и наземного сег-

ментов. В последние годы, когда появились требования обеспечения повышенной точности, доступности, оперативности и помехоустойчивости, традиционный состав ГНСС был расширен за счет средств, от которых в итоге зависит достижение заданных характеристик. В состав системы ГЛОНАСС входят:

- космический комплекс системы ГЛОНАСС, включающий группировку космических аппаратов на так называемых «средних» орбитах (с высотой ~20 000 км), и наземный комплекс управления;

- функциональные дополнения системы, которые предоставляют потребителю дополнительную информацию, с помощью которой обеспечивается повышенная точность, доступность, оперативность, помехоустойчивость предоставления навигационных услуг;

- комплекс средств фундаментального обеспечения системы, который обеспечивает расчет с требуемыми характеристиками параметров вращения и ориентации Земли, уточнение геоцентрической системы координат, формирование на требуемом уровне национальной шкалы всемирного скоординированного времени и передачу этих параметров в космический комплекс системы ГЛОНАСС;

- средства метрологического контроля, которые необходимы для выявления и устранения основной части погрешностей, имеющих в составных частях системы ГЛОНАСС.

Примерно аналогичный подход используется в США при рассмотрении состава и развития национальных средств «навигационного и координатно-временного обеспечения космического базирования» (*Space-Based Positioning, Navigation and Time*), центральное место среди которых занимает система GPS.

Пути улучшения системных характеристик ГНСС

Повышение точности навигационных определений

Погрешность навигационных определений потребителя складывается из двух составляющих:

- погрешности, которую обеспечивает сама система (или лучше – ее космический комплекс). Это так называемая погрешность «космического сегмента», или погрешность навигационных определений для «идеального приемника», когда собственные ошибки приемника и ошибки за счет распространения сигнала и условий приема равны нулю;

- погрешности приемного устройства, куда входят все остальные погрешности за исключением погрешности «космического сегмента».

Погрешность космического сегмента определяется погрешностями эфемеридно-временного обеспечения системы (т.е. ошибками орбит навигационных спутников и ошибками сведения бортовых и системной шкал времени) и геометрией расположения навигационных спутников на орбите в составе орбитальной группировки.

$$\text{Погрешность КС} = \text{ЭППД} \times \text{ПГФТ},$$

где ЭППД – т.н. эквивалентная погрешность псевдодальности до потребителя, в которой аккумулируются все ошибки определения орбит навигационных спутников и синхронизации шкал времени; ПГФТ – пространственный геометрический фактор точности, зависящий от спутниковой геометрии в зоне видимости потребителя.

В конечном итоге этот параметр определяется орбитальным построением группировки навигационных спутников и ее полнотой. Из выражения видно, что для повышения точности самой системы необходимо повышать точность эфемеридно-временного обеспечения и совершенствовать орбитальную группировку. Точность такого обеспечения в основном определяется точностью прогнозирования ухода бортовых часов космических аппаратов (КА), глобальностью покрытия траекторными измерениями орбиты КА, частотой обновления уточняемой эфемеридно-временной информации (ЭВИ), которая размещается в навигационном кадре навигационного сигнала и используется потребителем для своих определений, а также совершенством самих методов и алгоритмов обработки измерительной информации, с помощью которых и уточняются орбиты и поправки к шкалам времени. Соответственно, для повышения точности ЭВИ наиболее критичными технологиями являются:

- создание и внедрение в практику оперативного обеспечения ГНСС параметрических методов и алгоритмов уточнения орбит и поправок к шкалам времени навигационных спутников на основе траекторных измерений, чтобы получить ЭППД для всей группировки не хуже 10-30 см (среднеквадратическая погрешность);

- создание высокостабильных бортовых часов со среднесуточной относительной нестабильностью на уровне 1×10^{-14} - 5×10^{-15} ;

- создание глобального сегмента измерительных станций, которые обеспечивают полное покрытие всей орбиты навигационных спутников траекторными измерениями. При этом в качестве траекторных измерений используются измерения дальности на основе самих навигационных сигналов;

- создание средств более частой закладки уточненной ЭВИ на борт навигационных спутников (глобальный сегмент станций закладки, спутники-ретрансляторы и межспутниковая линия для передачи данных как в радио, так и в оптическом диапазонах).

Улучшение геометрического фактора (чем он меньше, тем меньше погрешность определения координат потребителя) связано с оптимальным размещением заданного количества спутников в орбитальной группировке, увеличением их общего количества, созданием дополнительных орбитальных группировок на высокоэллиптических, геостационарных или геосинхронных наклонных орбитах. Улучшению геометрического фактора способствует использование одновременно сигналов нескольких ГНСС, тем самым практически удваивая количество спутников в зоне видимости для получения лучшей геометрии, чем при использовании созвездия только одной из систем. Это особенно эффективно при наличии ограничений на прямую видимость навигационных спутников в городе и горной местности.

Для снижения погрешности другой составляющей суммарной ошибки позиционирования – погрешностей навигационной аппаратуры – используются различные методы компенсации влияния отраженных сигналов, снижение влияния ионосферы за счет применения двух- и трехчастотной аппаратуры, а также ряд других технологий. Большое значение для повышения точности аппаратуры имеют методы и алгоритмы, которые закладываются разработчиком аппаратуры, а также возможность калибровки межчастотных и межканальных задержек.

За последние годы активно развиваются технологии высокоточного позиционирования, которые используют функциональные дополнения как космического, так и наземного базирования:

– технология NetRTK (Network Real Time Kinematic), основанная на создании навигационного поля поправок в регионе, оснащенном базовыми станциями с расстояниями между ними порядка 40-60 км. В пределах такой системы потребитель, используя дополнительную информацию, получаемую из центра обработки, имеет возможность в реальном времени получать точность позиционирования на уровне 3-5 см;

– технология PPP (Precise Point Positioning), основанная на независимом от провайдеров базовых ГНСС определении в реальном времени высокоточной ЭВИ и передачи ее потребителям по альтернативным каналам передачи данных. В навигационном приемнике от базовых ГНСС используется при этом только измерительная информация псевдодальностей, а вся необходимая для решения навигационной задачи цифровая информация передается потребителю из другого источника, причем со значительно более высокой точностью. Достижимая точность абсолютного позиционирования в любой точке мира при данном методе составляет 10-15 см.

Однако последние два метода связаны с созданием дополнительной инфраструктуры помимо самих ГНСС.

Повышение доступности навигационного поля

Доступность навигационного поля ГНСС определяется количеством видимых спутников в зоне видимости потребителя и их геометрическим расположением. Это означает, что в условиях ограничений прямой видимости спутников (городская застройка, горная местность) доступность снижается и может вообще отсутствовать, если количество видимых спутников меньше четырех или их геометрия не позволяет решить навигационную задачу. Доступность может также снижаться в условиях помех, когда уровень помехи не позволяет устойчиво принимать часть сигналов навигационных спутников.

Самый «простой» способ повысить доступность – увеличить количество спутников в орбитальной группировке. Расчеты показывают, что для обеспечения доступности 95% в условиях города было бы достаточно порядка 50-60 спутников в группировке. Однако такое увеличение состава орбитальной группировки довольно дорогое удовольствие и накладывает дополнительную нагрузку на наземный комплекс управления.

Для повышения доступности рассматриваются несколько способов.

П е р в ы й – все-таки повысить количество спутников в составе орбитальной группировки выше предусмотренного штатного состава до 30-36 космических аппаратов. В то же время в системах GPS и ГЛОНАСС существуют ограничения по максимальному количеству спутников в орбитальной группировке в силу конструктивных особенностей навигационных сообщений.

В т о р о й способ – создание дополнительных орбитальных группировок на высокоэллиптических или наклонных геосинхронных орбитах. При совместном использовании базовых среднеорбитальных группировок и дополнительных региональных систем на высоких орбитах обеспечивается более высокая региональная доступность. По этому принципу создаются региональные системы QZSS Японии и IRNSS Индии, обеспечивающие повышение доступности системы GPS в своих регионах. Китайская система COMPASS сразу строится по этому принципу. В ее составе планируется создать как глобальный сегмент на средних орбитах, так и региональный высокоорбитальный сегмент.

Т р е т ь и й способ – использование локальных и региональных ассистирующих систем, которые по каналам связи ретранслируют потребителю цифровую информацию, содержащуюся в навигационном сигнале. За счет этого потребитель может принимать только измерительную информацию от навигационных спутников, а содержательная информация у него уже имеется. Соответственно, повышается устойчивость слежения за навигационными сигналами и доступность навигационного поля. Эта технология получила название A-GNSS.

Ч е т в е р т ы й способ – создание локальных систем на базе псевдоспутников или ретрансляторов навигационных сигналов.

Еще один способ, который является наиболее перспективным, – интеграция в навигационной аппаратуре потребителя всех источников навигационной информации с приемом сигналов всех доступных ГНСС; использование информации от встроенных микроинерциальных систем, одометров; информации от вышек сотовой связи, источников WiFi-сигналов; использование любой другой внешней информации, позволяющей решить навигационную задачу в условиях слабого навигационного сигнала или его временного отсутствия.

Повышение помехоустойчивости

Помехоустойчивость самой ГНСС обеспечивается в первую очередь мощностью и характеристиками излучаемых навигационных сигналов, а также способностью навигационной аппаратуры принимать и распознавать навигационные сигналы в условиях помех.

Для повышения помехоустойчивости самих ГНСС применяются и рассматриваются следующие технологии:

- перераспределение излучаемой мощности между открытыми и специальными навигационными сигналами для повышения гарантированного приема специальных сигналов. Это реализовано на спутниках GPS-III^F;
- использование направленного луча для излучения специальных навигационных сигналов в заданный регион (~1000 км) с повышением излучаемой мощности в этом регионе в сотни раз. Такой вариант рассматривается к реализации на спутниках серии GPS-III^c;
- применение навигационных сигналов с модуляцией BOC (Binary Offset Carrier), что по замыслу разработчиков затруднит постановку помех для такого рода сигналов. Специальные сигналы с такой модуляцией реализованы в системах GPS, Galileo, Compass.

Другой не менее эффективный способ борьбы с помехами – создание специальной помехоустойчивой аппаратуры потребителя. Для этих целей разрабатываются миниатюрные высокостабильные атомные часы и интеллектуальные остронаправленные приемные антенны с использованием технологии активных фазированных антенных решеток.

Необходимо отметить, что частотное разделение существующих сигналов в системе ГЛОНАСС обеспечивает большую помехоустойчивость по сравнению с сигналами с кодовым разделением на общей несущей. При решении проблем уточнения межканальных и межлитерных задержек сигналов с частотным разделением эта технология с точки зрения помехоустойчивости может оказаться достаточно привлекательной.

Для повышения помехоустойчивости используются также упомянутые в предыдущем разделе ассистирующие системы (технология A-GNSS), которые передают цифровую информацию по альтернативным каналам связи, тем са-

мым повышая чувствительность приемника, которому остается только следить за навигационным сигналом для измерений псевдодалности.

Состояние и развитие глобальных и региональных навигационных спутниковых систем

Стремление модернизировать действующие системы ГНСС и создать новые с улучшенными характеристиками точности, доступности, оперативности, надежности, помехоустойчивости связано с несколькими факторами.

Во-первых, спутниковая навигация в гражданских областях представляет собой хороший бизнес на потребительском уровне. Объем мирового рынка навигационных услуг уже сейчас по разным оценкам составляет десятки миллиардов долларов США и будет только расти.

Во-вторых, и это основной фактор, спутниковая навигация является глобальным стратегическим средством, относится к особо важной инфраструктуре, которая обеспечивает национальную безопасность и экономическое развитие. Этим обусловлено желание Евросоюза и Китая создать свои собственные навигационные системы, чтобы исключить зависимость в области навигации от США и России.

Состояние и развитие системы GPS США

В настоящее время орбитальная группировка GPS [12] насчитывает 35 КА на средней околоземной орбите высотой 20200 км, наклонением 55° (шесть плоскостей по 4 КА для штатной структуры группировки) (рис. 1), из которых штатно функционируют 32 КА, в том числе:

- 11 КА GPS-IIA;
- 12 КА GPS-IIR;
- 7 КА GPS-IIR-M;
- 2 КА GPS-III;
- 3 КА GPS-IIA находятся в орбитальном резерве.

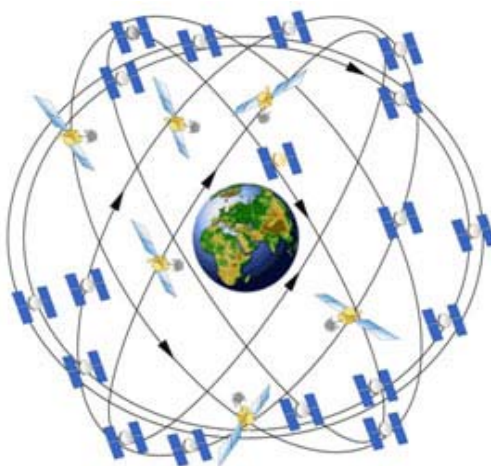


Рис. 1. Орбитальная группировка GPS

При создании следующего блока – КА-PIF – были добавлены следующие функции:

- 3-й гражданский сигнал на L5;
- перепрограммируемый процессор;
- увеличенный до 12 лет срок активного существования.

Работы по созданию КА нового поколения GPS-III строятся по принципу нарастающей сложности. К числу особенностей КА GPS-III относятся гибкость и многовариантность построения, включая:

- возможность автономного функционирования (КА могут запускаться круглый год, в любую орбитальную плоскость, не требуется наличие пусковых окон);

- высокоскоростные и высокоточные каналы межспутниковой связи (диапазон Ка 22,5-23,55 ГГц; V 59,3-64 ГГц, лазерная связь);

- передающие антенны высокой мощности, работающие в режиме узконаправленного луча (увеличение мощности сигнала до 27 дБ) для реализации функции Navwar (инициатива, реализуемая Минобороны США для предоставления навигационных услуг спецпотребителям в заданных районах боевых действий);

- усовершенствованные антенны и модули обработки сигналов на военных приемниках, которые позволят добавить еще 11 дБ мощности;

- функция поиска и спасания;

- дополнительная частота L4 (1379,91 МГц) для компенсации ионосферной погрешности;

- сигнал L1C с модуляцией BOC (1,1), обеспечивающий совместимость и взаимодополняемость с сигналом L1 Galileo;

- функциональные возможности обеспечения целостности на борту;

- реализация дополнительных функций в интересах Минобороны США.

Наземный сегмент управления нового поколения ОСХ с новыми противопомеховыми технологиями, прогнозными алгоритмами и более частыми обновлениями ЭВИ, а также с возможностью постепенного наращивания потенциала для управления спутниками GPS Block III с дополнительными функциями, например Navwar, заменит существующую систему оперативного управления ОСС. С вводом в эксплуатацию модернизированных КА серии IIR-M точность системы возросла с 1,6 м в 2001 г. до 0,9 м в 2009 г. (СКО, ошибка псевдодальности за счет погрешностей космического сегмента). Прогнозируемая точность ошибки псевдодальности для полной группировки GPS-III составит 0,25 м.

Состояние и развитие системы Galileo Евросоюза

В настоящее время (2010 – 2012 гг.) реализуется «этап орбитальных проверок» (In-Orbit-Validation – IOV) – демонстрационные испытания четырех летних образцов спутников IOV (два КА запущены в октябре 2011 г., еще два КА будут запущены в августе этого года), доработанных по итогам запуска и эксплуатации первых двух экспериментальных спутников GIOVE-A и GIOVE-B, проверка функционирования наземной инфраструктуры (наземный комплекс управления и комплекс средств эфемеридно-временного обеспечения).

Штатная орбитальная группировка системы Galileo включает в себя 30 КА на круговых орбитах высотой 23 222 км в трех плоскостях с наклоном 56°. Один из КА в каждой орбитальной плоскости является резервным.

Развертывание полной орбитальной группировки будет происходить в 2 этапа:

2014 – 2015 гг. – группировка в составе 18 КА (4 летных КА серии IOV и 14 штатных КА Galileo);

2016 – 2020 гг. – группировка в составе 30 КА (27 используемых по целевому назначению и три в орбитальном резерве).

В состав наземного сегмента управления войдут:

– три полномасштабных Центра управления системой (два основных – в Фучино (Италия) и Оберпфaffenхофене (Германия), другой – дублирующий в горячем резерве (на территории Испании), которые решают все задачи по обеспечению функционирования системы;

– сеть из 5 командно-измерительных и телеметрических станций;

– глобальная сеть из 30-40 беззапросных измерительных станций;

– 9 станций закладки данных;

– глобальный сегмент мониторинга и обеспечения целостности системы;

– интерфейс со службой COSPAS-SARSAT обеспечения поисково-спасательных операций;

– региональные сегменты мониторинга и обеспечения целостности системы.

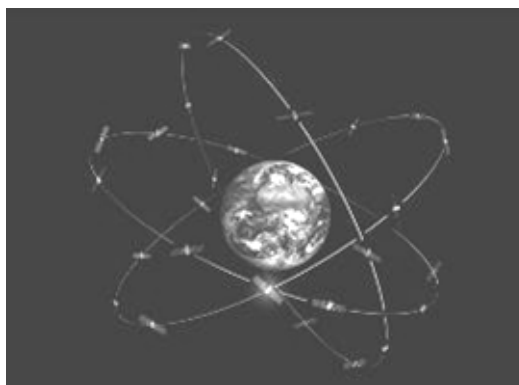


Рис. 2. Орбитальная группировка Galileo

Учитывая многолетний мировой опыт, создателям Galileo важно было предложить своим пользователям явные преимущества своей системы по отношению к другим. Это размещение дополнительных спутников на орбите, новшества в структуре самого сигнала и способах его обработки, лучшая проектная точность, расширенная номенклатура сервисов (два из которых – сервис для потребителей с повышенными требованиями к безопасности SoL и сервис с государственным регулированием доступа PRS – будут включать в себя информацию о целостности, а еще один – коммерческий сервис CS – будет иметь зашифрованный помехозащищенный сигнал с более высокой скоростью передачи данных).

Состояние и развитие системы COMPASS Китая

Согласно планам развертывание системы осуществляется в два этапа [13]. На первом этапе к концу 2012 г. планируется развернуть группировку из 14 КА, в том числе:

- 5 КА на геостационарной орбите ГЕО;
- 5 КА на наклонной геосинхронной орбите IGSO (2 из которых в орбитальном резерве);
- 4 КА на средней околоземной орбите МЕО.

На начало 2013 г. намечено начало использования системы для обслуживания потребителей в Азиатско-Тихоокеанском регионе в зоне обслуживания 55° с. ш. – 55° ю. ш. и 84° в. д. – 160° в. д.

На втором этапе планируется развертывание глобальной навигационной системы с группировкой в составе 35 КА к 2020 г. (рис. 3), в числе которых:

- 5 КА на геостационарной орбите;
- 30 КА на негеостационарной орбите (расположение уточняется).



Рис. 3. Орбитальная группировка Compass

Точность определения местоположения (95% вероятность) для системы Compass составит:

- в региональной системе – не хуже 20 м;
- для глобальной системы: 5 м по горизонтали и 5 м по вертикали на территории КНР; 10 м в любой точке на поверхности Земли.

В настоящее время в составе группировки 11 КА: 5 на геостационарной орбите, 1 на средней орбите и 5 на наклонной геосинхронной орбите. Количество используемых аппаратов по целевому назначению неизвестно.

В числе дополнительных возможностей системы Compass – наличие функции передачи коротких сообщений, оборудование некоторых КА регистраторами космических частиц и лазерными отражателями, межспутниковая линия связи (возможно, в диапазоне X).

Программа развития спутниковой навигации КНР отстает от американской ГНСС GPS более чем на 20 лет по таким основным параметрам, как системная архитектура, характеристики, помехоустойчивость, устойчивость к дезинформирующим помехам. Из-за отсутствия наземных станций вне территории КНР проблематичным представляется выполнение функции управления и закладки данных; из-за малой дуги контроля уменьшается точность определения орбит КА и, соответственно, местоопределения.

Состояние и развитие системы QZSS Японии

Правительство Японии планирует развернуть группировку из четырех КА на квазизенитных орбитах до 2020 г. [14]. Один из КА – Michibiki был запущен в

сентябре 2010 г. и используется для демонстрационных испытаний. Система QZSS будет использоваться для решения трех задач:

- дополнения системы GPS на территории Японии и прилегающих областей Азиатско-Тихоокеанского региона (за счет повышения доступности GPS при полной совместимости с настоящими и перспективными сигналами GPS);
- улучшения качества навигационных услуг при совместном использовании двух систем QZSS и GPS (за счет широкого диапазона корректирующих данных, в том числе дифференциальных поправок, информации о целостности, ионосферных поправок, данных о состоянии КА других ГНСС при взаимодополняемости с сигналом L1C/A GPS и полной совместимости с сигналами SBAS);
- передачи коротких сообщений.

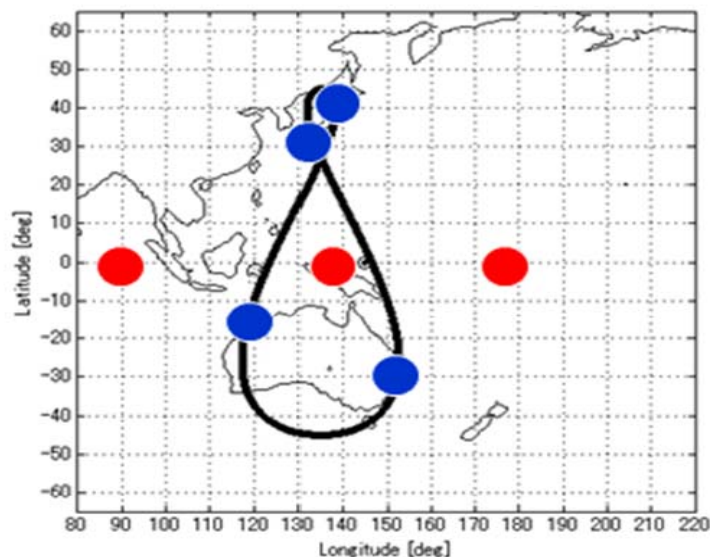


Рис. 4. Трассы на поверхности Земли КА системы QZSS

Особенностью системы QZSS является использование экспериментальной системы синхронизации. В ходе летных испытаний КА Michibiki планируется провести исследование возможности использования технологии отсчета времени без атомных часов. Вместо этого используется система синхронизации, объединённая с упрощёнными часами на борту, которые работают как приемопередатчики, ретранслирующие информацию о точном времени, предоставленную удаленной сетью синхронизации времени, расположенной на Земле.

Состояние и развитие системы IRNSS Индии

В состав спутниковой группировки (рис. 5) войдут 7 спутников[15]:

- 3 спутника на геостационарной орбите;
- 4 спутника на геосинхронной орбите с параметрами: апогей 24000 км, перигей 250 км, наклонение 29°. Два КА пересекают плоскость экватора в точке 55° в.д., и два – в точке 111,5° в.д.

Зона покрытия системы IRNSS будет включать в себя всю материковую часть Индии и территорию, простирающуюся на 1500 км за ее пределами, в том числе большую часть бассейна Индийского океана.

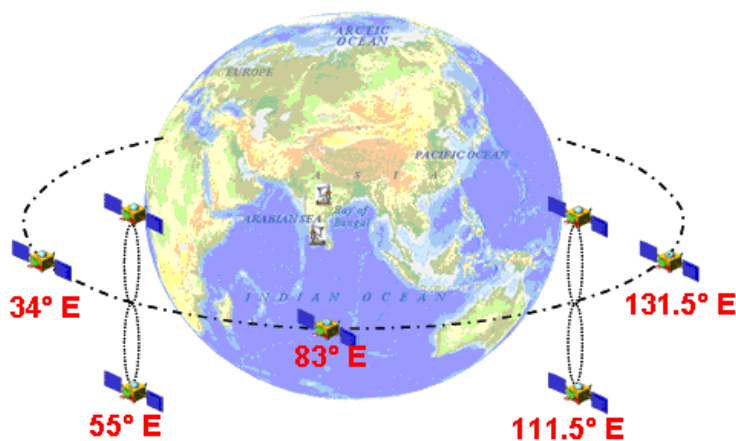


Рис. 5. Орбитальная группировка IRNSS

Система IRNSS будет передавать навигационные сигналы с кодовым разделением в диапазонах L5 с центральной частотой 1176,45 МГц и в диапазоне S с центральной частотой 2492,028 МГц.

Состояние и направления развития системы ГЛОНАСС

В результате выполнения федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» ГЛОНАСС была полностью восстановлена с характеристиками, сопоставимыми с системой GPS. Тем самым полностью работоспособная система ГЛОНАСС в полном объеме предоставляет услуги всем гражданским потребителям на безвозмездной основе и без ограничений и получила мировое признание у разработчиков навигационной аппаратуры и потребителей всего мира.

Дальнейшее развитие системы ГЛОНАСС предусматривается в рамках новой федеральной целевой программы «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС в 2012–2020 гг.», которая утверждена Постановлением Правительства Российской Федерации 3 марта 2012 года.

Программой предусмотрен комплекс мероприятий, который направлен на обеспечение конкурентоспособности системы ГЛОНАСС на мировом рынке навигационных услуг, обеспечение паритета по отношению к зарубежным системам в вопросах обеспечения обороны и безопасности Российской Федерации.

В числе мероприятий:

- развитие космического сегмента, предусматривающее создание новых космических аппаратов с улучшенными характеристиками серии «ГЛОНАСС-К» с увеличенным до 10 лет гарантированным сроком активного существования. При этом на базе использования этих новых КА в системе будут дополнительно к существующим излучаться новые открытые и специальные сигналы с кодовым разделением каналов в трех диапазонах, традиционно занимаемых сигналами ГЛОНАСС. Дополнительно будут реализованы функции среднеорбитального сегмента системы поиска и спасания. В системе предусматривается реализация межспутниковой радио- и оптической линии для передачи данных и проведения межспутниковых измерений в целях улучшения характеристик эфемеридно-временной информации;

- модернизация наземного сегмента управления, которая предусматривает расширение сети станций закладки целевой информации на территории России,

модернизацию программно-аппаратных средств центра управления, совершенствование системы сбора и передачи данных, а также создание глобального сегмента наземных измерительных станций;

– развитие систем функциональных дополнений космического и наземного базирования с целью обеспечения целостности, доступности и точности навигационных определений.

В результате выполнения намеченных мероприятий система ГЛОНАСС сможет обеспечить поддержание ее конкурентоспособности с учетом модернизации и развития зарубежных аналогов.

Выводы

1. Тенденции развития спутниковых навигационных систем определяются, с одной стороны, повышающимися требованиями потребителей, с другой – стратегическим значением этих систем. Это требует от разработчиков улучшения характеристик своих систем для обеспечения конкурентоспособности на мировом рынке навигационных услуг и занятия лидирующих позиций в интересах обеспечения навигационной независимости.

2. К концу десятилетия ожидается функционирование четырех глобальных и как минимум трех региональных навигационных спутниковых систем, которые в совокупности обеспечат более высокое качество навигационного обслуживания, чем любая из них по отдельности.

3. Для повышения точности, доступности, целостности навигационных полей, обеспечения помехоустойчивости систем, повышения оперативности навигационных решений развитие систем спутниковой навигации будет идти по пути применения новых технологий при модернизации ГНСС (высокостабильные бортовые генераторы времени и частоты, межспутниковые радио- и оптические линии для передачи данных и измерений, применение современных методов и алгоритмов обработки навигационной информации) и их интеграции с другими источниками навигационной информации.

4. Решение задач обеспечения надежности навигации в рамках отдельно взятой ГНСС требует значительных финансовых и интеллектуальных затрат. С целью оптимизации затрат в качестве наиболее предпочтительных направлений развития ГНСС на потребительском уровне рассматриваются:

– использование в аппаратуре потребителя одновременно сигналов нескольких ГНСС, что требует обеспечения совместимости этих систем и взаимодополняемости;

– развитие функциональных дополнений ГНСС различного назначения как наземного, так и космического базирования;

– интеграция в навигационной аппаратуре потребителя наряду с традиционными функциями приема и обработки навигационных сигналов ГНСС, различного рода дополнительных датчиков как существующих, так и перспективных (микроинерциальные системы, одометры, акселерометры, магнитометры, гравиметры) и других источников навигационной информации (сигналы сотовой связи, сигналы источников WiFi);

– использование в навигационной аппаратуре потребителя различного рода ассистирующей и корректирующей информации, поступающей по каналам передачи данных от функциональных дополнений ГНСС

5. В условиях многосистемного мира для повышения характеристик отдельных систем следует ожидать появления международных альянсов по типу GPS

и QZSS. При этом региональные системы типа японской QZSS фактически являются региональными дополнениями глобальной системы GPS.

6. Несмотря на самое широкое применение ГНСС в гражданском секторе, сохраняется и усиливается военная (специальная) составляющая этих систем. ГНСС становятся инструментом глобального политического и экономического влияния в многополярном мире.

7. Сами по себе системы ГНСС являются уязвимыми по отношению к внешним воздействиям, в первую очередь к источникам преднамеренных радиопомех. Учитывая возрастающую зависимость экономики различных стран от работоспособности ГНСС, необходимо принимать меры по защите как радиочастотного диапазона, выделенного для спутниковой радионавигации, так и инфраструктуры самих ГНСС от внешних воздействий, в том числе в рамках международного сотрудничества.

8. Анализ тенденций развития систем спутниковой навигации показывает, что даже с учетом интеграционных решений, глобальные навигационные спутниковые системы будут составлять основу технологий навигационного и координатно-временного обеспечения потребителей в ближайшие десятилетия.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Aviation** Week and Space Technologies Magazine, 05/2008-04/2012.
2. **Coordinates** Magazine, 06/2009-03/2012.
3. **Inside** GNSS Magazine, 01/2007-02/2012.
4. **GPS** World Magazine, 01/2007-04/2012.
5. **Spaceflight**, 06/2009-04/2012.
6. **Space** News, 05/2008-04/2012.
7. www.defense-aerospace.com
8. **Ollie Luba, Larry Boyd**, Art Gower, Lockheed Martin Corporation; Jeff Crum, Infinity System Engineering, GPS III System Operations Concepts, 2005.
9. **GPS 2008**. A Report to Congress, October 31 2008.
10. **National** Space Policy of the United States of America, June 28 2010.
11. **The Global** Positioning System for Military Users: Current Modernization Plans and Alternatives, October 2011.
12. **Raymond Clore**. U.S. GPS Policy and Constellation Status. The 6th International Satellite Navigation Forum, April, 2012.
13. **Chen Xiangdong**. Current state and further development of the Compass/BeiDou Navigation Satellite system. The 6th International Satellite Navigation Forum, April, 2012.
14. **Satoshi Fujiwara**. Future Plan of Quasi-Zenith Satellite System. The 6th International Satellite Navigation Forum, April, 2012.
15. **S. Ganeshan**. On Indian Satellite based Navigation Systems and Implementation Status. The 6th ICG meeting, September 2011.

Abstract. The new generation ground control segment OCX based on new anti-jamming technologies, forecasting algorithms and more frequent orbit and time data updates supporting gradual capacity building to control GPS Block III satellites with extra functions, for example, Navwar, will replace the existing operative control system OCS.

Key words: segment OCX, control GPS Block III, forecasting algorithms