

**Б.Г. Мордвинов**

**СПУТНИКОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И  
ГЛОБАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

*В докладе освещаются предпосылки и история создания спутниковых навигационных систем. Излагаются технические, эксплуатационные и точностные характеристики. Рассматриваются глобальные технологии их применения в различных областях.*

*Спутниковая навигационная система; технологии использования; точностные характеристики.*

**B.G. Mordvinov**

**SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS AND GLOBAL TECHNOLOGIES  
OF THEIR USING**

*In this report the presuppositions and history of satellite navigation systems creation are discussed. The technical, operation and precision characteristics are described. The global technologies of their using in different branches are considered.*

*Satellite navigation system; technologies of using; precision characteristics.*

Спутниковые навигационные системы (СНС) в конце XX в. нашли широкое применение во многих областях человеческой деятельности во всех регионах Земли и околоземном воздушном и космическом пространстве. Интерес к все более широкому практическому применению СНС в самых разных областях хозяйственной и военной деятельности непрерывно растет.

История создания глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS развивались по внешне схожим сценариям. В настоящее время глобальное навигационное поле поддерживается в основном с помощью многоспутниковых навигационных систем GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия).

Идея практического создания СНС возникла с запуска в СССР в октябре 1957 г. первого в мире ИСКУССТВЕННОГО СПУТНИКА ЗЕМЛИ (ИСЗ). С этого события началась эра практического освоения космоса. Разработка и создание по заказам военных ведомств спутниковых навигационных систем первого поколения началась одновременно в СССР (СНС «Циклон») и в США («Транзит»). Эти системы являлись околополярными низкоорбитными (высота 1700 км, период обращения 105 минут). Они обладали практически одинаковыми техническими и эксплуатационными характеристиками, подтвержденными в период 20-летней опытной эксплуатации. По результатам эксплуатации СНС первого поколения и возросшие требования к СНС обусловили необходимость проведения новых разработок по созданию глобальных СНС как в СССР, так и в США и к 1995 году уже было завершено развертывание этих новых глобальных систем «ГЛОНАСС» и GPS до штатного состава. Однако, схожесть сценариев на этом заканчивается.

В силу известных событий, связанных с переходом России к новым экономическим условиям, по ряду объективных и субъективных причин произошло сокращение финансирования всей космической отрасли, в том числе и СНС ГЛОНАСС. Это привело к сокращению орбитальной группировки и снижению ее выходного эффекта.

Рассмотрим СНС НАВСТАР - GPS

Основное назначение спутниковой навигационной системы НАВСТАР – GPS второго поколения является глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов: наземных (сухопутных, морских, воздушных) и низкоорбитальных космических. Термин «глобальная оперативная навигация» означает, что подвижный объект, оснащенный навигационной аппаратурой потребителя (НАП), может в любом месте приземного пространства в любой момент времени определить с высокой точностью параметры своего движения и время.

СНС состоит из космического сегмента, сегмента управления и сегмента потребителей.

Космический сегмент образован орбитальной группировкой, номинально состоящей из 24 основных навигационных космических аппаратов (НКА) и 3 резервных. НКА находятся на 6 круговых орбитах высотой около 20,2 тыс. км (период обращения около 12 ч.), наклоном 55 градусов относительно плоскости экватора и равномерно разнесенных по долготе через 60 град. Высокостабильные стандарты частоты, размещенные на борту НКА, обеспечивают взаимную синхронизацию их навигационных радиосигналов. Навигационные радиосигналы, излучаемые штатными НКА, образуют в околоземном пространстве радионавигационное поле. При полной орбитальной группировке НКА радионавигационное поле непрерывно в пространстве и потребитель в любой точке этого пространства «освещается» радиолучами не менее чем от 4-х НКА, образующих по отношению к нему удовлетворительное по геометрическому фактору созвездие для оперативного определения координат, скорости и времени.

Сегмент управления состоит из сети наземных станций, расположенных по всему миру. Сеть содержит главную станцию управления (авиабаза Фалькон в штате Колорадо), пять станций слежения (СС), расположенных на американских военных базах на Гавайских островах, острове Чагос (Индийский океан) острове Вознесения (Атлант. океан), атолле Диего-Гарсия (архипелаг Чагос в Индийском океане), атолле Кваджалейн (Тихий ок.) и в Колорадо-Спрингс, и три станции ввода данных, находящихся на о-ве Вознесения и атоллах Диего-Гарсия и Кваджалейн.

СС расположены сравнительно равномерно по земному шару вблизи экватора, что создает благоприятные условия для наблюдений за НКА. Эти станции принимают сигналы НКА и осуществляют специальные прецизионные измерения дальности до них. Главная станция осуществляет сбор измерений от всех СС и их обработку. В ходе обработки с высокой точностью рассчитываются параметры орбит (эфемериды) и их прогнозируемые значения а также параметры модели ионосферы и поправки бортовых часов каждого НКА. Затем эти данные через станции ввода данных периодически передаются на борт каждого НКА. Производится также мониторинг состояния НКА и управления их работой.

Сегмент потребителей включает НАП и самих ее пользователей. В НАП на объекте принимаются радиосигналы не менее чем от четырех радиовидимых НКА, которые используются для измерения псевдодальностей до НКА. Совместная обработка этих измерений и эфемеридной информации позволяет определить три пространственные координаты объекта, три составляющие вектора его скорости и смещение шкалы времени объекта относительно шкалы времени системы.

Первоначальными задачами, решаемыми с помощью СНС, являлись традиционные задачи навигации подвижных объектов. Достигнутый уровень технических и эксплуатационных характеристик СНС GPS резко раздвинул границы их применения. Как уже было отмечено, что хотя СНС GPS и создавались в интересах МО США, но с самого начала она планировалась для широчайшего применения в

гражданской сфере. Американские военные рассматривали привлечение «цивильных» пользователей как способ окупаемости системы в целом. Американцы всегда ищут возможность извлечения прибыли из военных разработок. Они создали вокруг СНС GPS огромный рынок гражданской продукции. Коммерческая поддержка американской системы спутниковой навигации осуществляется за счет поставщиков НАП, которые платят налоги.

Американская СНС GPS хотя и создавалась главным образом в интересах МО США, но с самого начала планировалась для широкого применения в невоенной сфере.

В различных сферах материальной деятельности человека количество задач, решение которых стало возможным на основе СНС-технологий, необъятно. Даже перечисление их не может быть исчерпывающим, ибо все более глубокое осознание возможностей этих технологий открывает все более широкое поле их применения.

За короткий срок, к концу XX в., СНС GPS не только стала неотъемлемой частью инфраструктуры США и других промышленно развитых стран мира, но и начала входить в повседневный быт простых граждан этих стран, особенно после появления мобильных телефонов с встроенным СНС-приемником. Возник огромный рынок потребителей СНС-технологий. Уже к 2000 г. СНС GPS имела миллион потребителей и рынок в 8,5 млрд долларов. Причем доля невоенных потребителей составила более 90% от общего объема рынка. По оценкам экспертов, за счет налогов, поступающих от массовой продажи аппаратуры, услуг и лицензий государственные инвестиции в систему GPS в объеме порядка 10 млрд долларов уже к 2005 г. окупились полностью. Министр финансов США отметил, что СНС GPS - единственная программа МО США, которая дает доход.

Первоначальными задачами, решаемыми с помощью СНС, были традиционные задачи навигации подвижных объектов. Была реализована вековая мечта навигаторов - обзорное счисление: корабль, летательный аппарат, автомобиль, танк и т.д. мог ежесекундно высокоточно знать свое местоположение в любой точке земного шара в любое время суток и при любой погоде. Т.о. отпала необходимость для навигационного счисления пути иметь приборы курсоуказания и измерения пройденного расстояния и скорости.

Наличие в СНС-приемнике процессора дало возможность помимо решения основной задачи решать большой ряд сервисных задач ( вычислять расстояние и курс до очередной поворотной точки маршрута или любой другой заданной точки, время до прихода в точку, отклонение от маршрута и многое другое) автоматически, мгновенно, безошибочно, одним нажатием клавиши переходить из одной системы координат в другую и т.д. Это освободило навигатора от рутинной расчетно-графической работы, предоставив время для анализа обстановки и принятия адекватных решений. Простота освоения и пользования СНС-приемником, облегчение обучения и работы навигатора вызвали у некоторых ретроградов опасение, что многотрудное искусство навигации может деградировать. Но фактически СНС, особенно в сочетании с электронной картой и средствами ее отображения, радикально изменила работу навигатора.

Рассмотрим особенности разработки и создания СНС в СССР – России.

Как всегда в России идеи рождаются значительно раньше, чем в других странах, а с практической реализацией получают задержки. Так. еще в 1956 году, когда еще достраивался полигон Байконур и еще не был запущен первый ИСЗ, капитан 2 ранга Вадим Фуфаев (впоследствии Лауреат государственной премии СССР) старший научный сотрудник НИИГШИ ВМФ ( впоследствии НИИ-9 ВМФ)

в 1956 году сформулировал тему своей работы над диссертацией: «Определение места корабля в море по искусственному спутнику земли». Тема была утверждена всеми инстанциями. Однако в практической реализации идей мы часто отстаем по срокам. Если в США начали создание СНС на доплеровском принципе, то у нас работы были развернуты по трем направлениям: доплер, дальномер и угломер. Была создана и проходила опытную эксплуатацию аппаратура для указанных трех систем на борту ОИС «Николай Зубов». Вашему покорному слуге довелось руководить этими работами в двух океанских экспедициях в Атлантическом океане (по пол-года каждая) на этом судне в 1971-1972 годах и на атомной ракетной подводной лодке проекта 667-БДР в Баренцевом море в 1975-76 г.

Системы «Циклон» и «Транзит» были низкоорбитными, Высота орбиты НКА порядка 1700 км с периодом обращения вокруг Земли 105 минут, наклонение орбиты к плоскости экватора 83 градуса. На орбитах работали от 4 до 6 спутников. Дискретность определения была низкой (от 40 мин до 1,5 часа в зависимости от широты нахождения потребителя).

Среднеорбитная глобальная навигационная система ГЛОНАСС, как и СНС GPS имеет аналогичные параметры орбиты: высота около 20000 км, период обращения НКА около 12 часов, наклонение орбиты к плоскости экватора 65 градусов (у GPS этот параметр – 55 град). Основой системы ГЛОНАСС должны являться 24 спутника. Принцип измерений аналогичен американской системе GPS.

Первый спутник ГЛОНАСС был выведен Советским союзом на орбиту 12 октября 1982 года. 24 сентября 1993 года система была официально принята в эксплуатацию. В 1995 г. спутниковая группировка составила 24 аппарата.

Вследствие недостаточного финансирования, а также из-за малого срока службы, число работающих спутников сократилось.

В августе 2001 г. была принята федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система», согласно которой полное покрытие территории России планировалось уже в начале 2008 г, а глобальных масштабов система достигла бы к началу 2010 года. Для решения данной задачи планировалось уже в течение 2007, 2008 и 2009 годов произвести 6 запусков ракет-носителей и вывести на орбиту 18 спутников – таким образом, к концу 2009 года группировка вновь насчитывала бы 24 аппарата.

В конце марта 2008 года Совет главных конструкторов по российской глобальной навигационной системе, заседавшей в Российском НИИ космического приборостроения, несколько скорректировал сроки развертывания космического сегмента ГЛОНАСС. Прежние планы предполагали, что на территории России системой станет возможно пользоваться уже к 31 декабря 2008 года; однако для этого требовалось 18 работающих спутников, из которых некоторые успели выработать свой гарантийный ресурс и прекратили работу. Таким образом, хотя в 2007 году план по запускам спутников ГЛОНАСС был выполнен (на орбиту вышли шесть аппаратов), орбитальная группировка по состоянию на 27 марта 2008 года включала лишь 16 работающих спутников. 25 декабря 2008 года количество было доведено до 18 спутников.

29 января 2009 года было объявлено, что первым городом страны, где общественный транспорт в массовом порядке будет оснащен системой ГЛОНАСС, станет Сочи. На тот момент ГЛОНАСС-приемники производства компании «М2М телематика» было установлено на 250 сочинских автобусах.

Разработчик и изготовитель спутников ОАО «ИСС» имени академика М.Ф Решетнева (до 2008 года НПО ПМ), город Железногорск, Красноярский край.

При неполной штатной численности спутников по взаимному интересу сторон (Томас Стенселл) была разработаны программы совместного приема и обработки сигналов ГЛОНАСС и GPS и выпускается аппаратура потребителя, позволяющая производить навигационные определения по одновременно принятой информации этих двух систем. В этом случае достигается покрытие всего глобального навигационного поля информацией спутников указанных систем и повышенная точность. Впервые потребительские спутниковые приемники, рассчитанные на совместное использование ГЛОНАСС и GPS, поступили в продажу в декабре 2007 года. Первым приемником, рассчитанным на работу с американской и российской навигационными системами, был профессиональный прибор компании Ashtech, выпущенный в 1999 году.

По сообщению ВЕСТЕЙ-24, объем производства подобной аппаратуры составляет полторы-две тысячи навигаторов в месяц, а вопрос обеспечения цифровыми картами поручено разработать Роскартографии. По сообщению РИА «Новости» от 20 мая 2008 года, важная проблема ГЛОНАСС состоит в нехватке цифровых карт, и вице-премьер Сергей Иванов на совещании по развитию транспортной системы поведал, что основные средства, выделяемые на ГЛОНАСС, пойдут именно на эту часть программы – на создание цифровых карт.

В России навигационную аппаратуру СНС выпускают порядка 10 предприятий, среди которых ЗАО «КБ НАВИС», ОАО «РИРВ», ОАО «МКБ»КОМПАС» и др.

Смешанная ГЛОНАСС/GPS аппаратура профессионального уровня изготавливается многими производителями, в том числе зарубежными фирмами Topcon, Trimble, Septentrio, NovAtel.

В целях реализации Постановления Правительства РФ от 25.08.08 № 641 «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой СНС ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS НПО ПРОГРЕСС разработало и выпустило аппаратуру СНС ГАЛС-М1 и ГАЛССИАДА-А1, которой уже сегодня могут быть оснащены многие виды военной и специальной техники ВС РФ..

Для декодирования сигналов ГЛОНАСС разработана плата, но пока не микросхема, что увеличивает габариты, энергопотребление и цену устройства. Разработка микрочипа могла бы улучшить эти параметры и сравнить их с приемником GPS, но требует значительных капиталовложений.

#### **Точность навигации**

В настоящее время точность определения координат системой ГЛОНАСС несколько отстает от аналогичных показателей для GPS.

На 12 мая 2009 года точность определения координат российской системы составляла около 10 метров, а американской, с дифференциальным измерением координат, порядка 5 метров (до 3 метров с системой повышения точности WAAS).

Однако по заявлению главы Роскосмоса Анатолия Перминова, принимаются меры по увеличению точности. Уже в 2010 году точность системы ГЛОНАСС должна возрасти до 5,5 метров, а к 2011 году до 2,8 метров. Среди мер по повышению точности российской системы обычно называются пополнение орбитальной группировки, улучшение потребительских устройств и постепенная замена спутников на более совершенные ГЛОНАСС-М и ГЛОНАСС-К.

При этом использование обеих навигационных систем уже сейчас дает существенный прирост точности. Европейский проект. Европейский проект EGNOS, использующий сигналы обеих систем, дает точность определения координат на территории Европы на уровне 1 – 3 метра.

Планируемые области применения СНС-технологий в России:

- гражданская авиация
- морской и речной транспорт
- геодезия и картография
- строительство
- наземный транспорт
- системы безопасности
- спорт
- сельское хозяйство
- спасательные работы
- частное использование

В развитии СНС GPS США достигли больших успехов. Их опыт не только внимательно изучается другими развитыми странами. Страны Европейского союза разрабатывают и планируют в ближайшее время ввести в строй независимую СНС Galileo. Япония успешно запустила два геостационарных (высота орбиты 36000 км) навигационных спутника своей широкозонной подсистемы MSAS. Три навигационных спутника вывела на геостационарную орбиту КНР.

В обозримом будущем СНС представляются наиболее эффективным средством координатно-временного обеспечения деятельности человеческого сообщества.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Волосов П.С., Дубинко Ю.С., Мордвинов Б.Г.* Судовые комплексы спутниковой навигации. Ленинград: Изд-во «Судостроение», 1983. – 270 С.
2. *Шебшаевич В.С., Мордвинов Б.Г.* Бортовые навигационные системы. «Транспорт», Москва, 1988. – 197 С.
3. *Заколядажный В.П., Алексеев С.П., Комарицын А.А.* Спутниковая навигационная система: применение в вооруженных силах США. ЦКП ВМФ, Санкт-Петербург, 2006. – 206 С.
4. *Навигационная морская политика России.* Изд-во «Петровский двор», ООО «Офицерская корпорация - 1». Библиотека общероссийского движения поддержки флота. По материалам Всероссийской научно-технической конференции, состоявшейся в Москве 30 марта 1999 г. 2000. – 450 С.

**Мордвинов Баррикадо Георгиевич**

Институт океанологии имю П. П. Ширшова, РАН

E-mail: [barrikado@bk.ru](mailto:barrikado@bk.ru)

127490, Россия, Москва, ул.Декабристов 43, кв. 24, тел.: 403 71 94

**Mordvinov Barricado Georgievich**

P.P. Shirshov Institute of Oceanology, PAS

E-mail: [barrikado@bk.ru](mailto:barrikado@bk.ru)

Art. 24, 43, Dekabristov Str., Moscow, 127490, Russia, ph.: 403 71 94