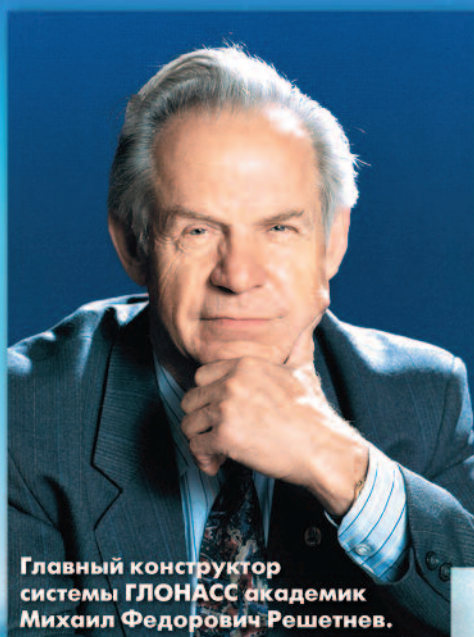


РАДИОНАВИГАЦИЯ И СПУТНИКОВЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

канд. техн. наук А. Коротоношко, канд. техн. наук В. Климов, г. Москва



Главный конструктор
системы ГЛОНАСС академик
Михаил Федорович Решетнев.

Широкое развитие радионавигации началось в тридцатых годах прошлого столетия и получило наивысшее развитие к концу девяностых годов прошлого столетия, когда в США и России были введены в практическую эксплуатацию дальномерные спутниковые радионавигационные системы GPS (Global positioning systems) и ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система). Ввод в действие этих систем ознаменовал появление совершенно нового качественного уровня навигационного обеспечения как в военной сфере, так и в разнообразных гражданских применениях.

(См. статью на с. 6)



Антенная система
и передатчики НКА ГЛОНАСС.



Установка
ракеты-носителя "Протон"



Антенный пост наземного
комплекса управления

6 Радионавигация и спутниковые радионавигационные системы

А. КОРОТОНОШКО, канд. техн. наук,

В. КЛИМОВ, канд. техн. наук, г. Москва

Радионавигация, наряду с радиосвязью и радиолокацией, является важнейшим применением радиоволн. Принципы радионавигации заключаются в том, что некий объект — самолет, корабль, наземное транспортное средство или пешеход — может определить свое положение в пространстве, принимая радиосигналы от специальных радиопередаточных станций, координаты которых известны.

Простейшим радионавигационным средством является радиомаяк. Пользователь навигации определяет направление прихода радиоизлучения (пеленгует его) и, используя несколько таких пеленгов, вычисляет свое положение на местности. Такая навигация называется угломерной. Более сложные навигационные системы — дальномерные — измеряют дальности до излучающих радиостанций. Так же, как в радиолокации, эти дальности вычисляются через измеренное время прихода радиосигнала и скорость распространения радиоволн. Используя дальности до нескольких радиостанций, пользователь может определить свое местоположение.

Радионавигационное обеспечение как в России, так и за рубежом использует два вида навигационных систем — наземные и спутниковые. К широко известным наземным радионавигационным средствам относятся системы дальней навигации "Омега" (США) и "Маршрут" (Россия), работающие в сверхдлинноволновом диапазоне радиоизлучений, и фазово-дальномерные системы — LORAN (США) и "Тропик" (Россия) длинноволнового радиодиапазона.

Системы LORAN и "Тропик" попарно совместимы между собой, т. е. позволяют одновременно использовать передающие радиостанции как одного, так и другого типа.

Кроме наземных систем дальней навигации, в мире широкое применение находят и так называемые системы ближней навигации, имеющие более ограниченные зоны действия и более узкие задачи. Это западные системы VOR/DME (радиомаяк VOR и измеритель дальности DME), российская система ближней навигации РСБН, средневолновые приводные авиационные средства ПРС/АРК (приводная радиостанция/автоматический радиоконпас), используемые как в России, так и за рубежом, а также ряд других узкоспециализированных навигационных радиосистем.

К космическим радионавигационным системам, разработанным и внедренным в практику навигации в конце прошлого и начале этого века, относятся системы "Транзит" и GPS — США, "Цикада" и ГЛОНАСС — СССР/Россия. Из этих систем в настоящее время в эксплуатации и развитии остаются системы GPS и ГЛОНАСС. Сегодня Европейский Союз создает еще одну глобальную спутниковую систему — Galileo. Все эти системы обладают высокими характеристиками, свойственными спутниковой навигации: глобальностью действия, высокой точностью навигационной информации, высокой оперативностью, т. е. малым временем, необходимым для точного местопопре-

гражданской авиации (ИКАО) и водного транспорта (ИМО). Совместимость систем обеспечила потребителям во всем мире неограниченную возможность одновременно использовать навигационные спутники любой из этих систем.

Применение спутниковых навигационных систем является основной линией научно-технического прогресса на многие годы вперед. Вместе с тем высокие требования по надежности навигации и возникшие в последнее время угрозы подавления спутниковых систем преднамеренными помехами со стороны террористов вынудили ИКАО и ИМО принять решение о сохранении наземных систем радионавигации LORAN/"Тропик", DME, ПРС/АРК в качестве дублеров GPS и ГЛОНАСС на достаточно длительную перспективу.

Для СССР и России, в силу геополитического положения нашей страны в мире для задач обеспечения обороны, повышения эффективности и безопасности использования транспортных систем, повышения эффективности геодезического обеспечения страны, развития фундаментальной и прикладной науки, было естественным создание и поддержание собственной спутниковой навигационной системы — ГЛОНАСС.

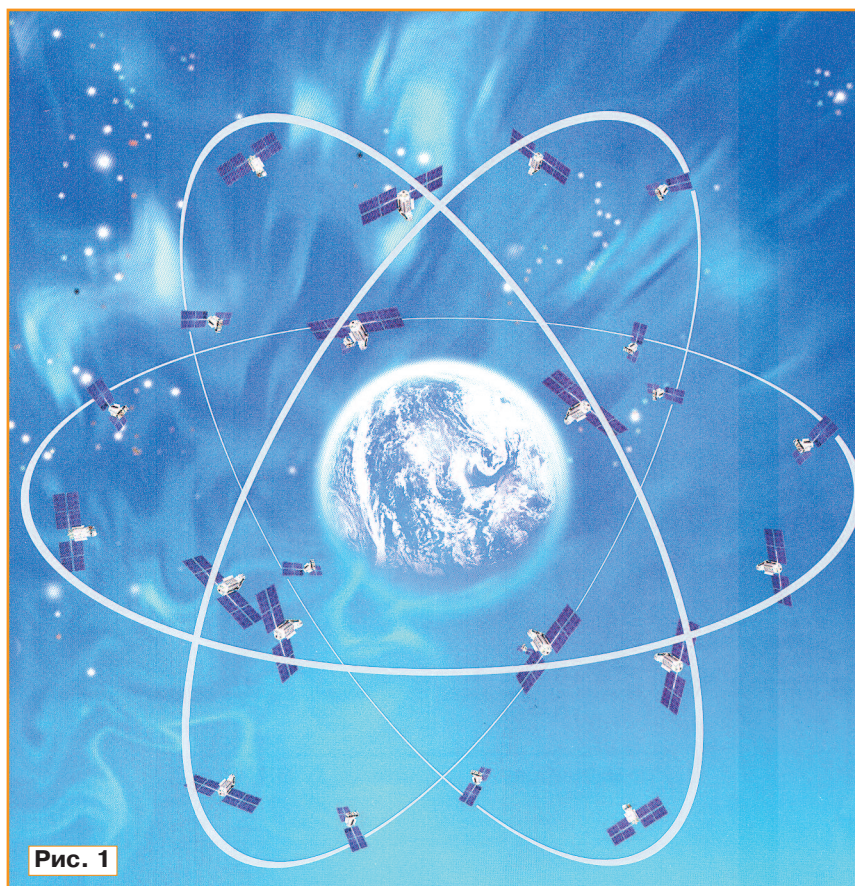


Рис. 1

деления. Для обеспечения высокой надежности навигации эти системы являются совместимыми — интероперабельными. Для этого радиотехнические характеристики их сигналов и другие технические данные стандартизованы международными организациями

Система ГЛОНАСС была разработана Научно-производственным объединением Прикладной механики (НПО ПМ), г. Красноярск. Главным конструктором системы был академик Михаил Федорович Решетнев, чье имя носит в настоящее время НПО ПМ. В созда-

нии системы приняло участие большое количество ведущих НИИ и ОКБ ракетно-космических и радиоэлектронных отраслей. Разработка радиотехнического комплекса системы производилась РНИИ КП, г. Москва.

Разработка системы началась в 1977 г. Первые навигационные космические аппараты (НКА) ГЛОНАСС были выведены на орбиту 12 октября 1982 г. К концу 1991 г. система включала 12 рабочих НКА. В 1995 г. система была сдана в эксплуатацию, и орбитальная группировка была доведена до штатного состава (24 НКА). В дальнейшем из-за экономических трудностей число аппаратов в космосе непрерывно сокращалось, и по состоянию на середину 2005 г. в системе для использования были доступны сигналы лишь 12 НКА. С таким количеством НКА в системе потребители имеют большие ограничения в ее использовании, перемены в навигационном обеспечении достигают трех-четырех часов, поэтому в 2002—2006 гг. Правительством России были приняты постановления, предусматривающие меры по доведению к 2008 г. группировки НКА до штатной. Этими постановлениями предусмотрен также переход системы на новые модернизированные спутники ГЛОНАСС-М, которые имеют больший срок существования на орбите (7 лет) и, соответственно, требуют более редких запусков НКА на замену спутников, вышедших из эксплуатации по ресурсу.

Что же представляет из себя система ГЛОНАСС?

Среднеорбитальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС предназначена для определения координат и составляющих вектора скорости потребителей, находящихся в любой точке Земли, околоземного и космического пространства, в любых условиях независимо от времени года и суток. Кроме того, система ГЛОНАСС обеспечивает потребителей временной синхронизацией с привязкой к единому мировому времени UTC.

Система ГЛОНАСС состоит из трех подсистем:

- подсистемы космических аппаратов;
- наземного комплекса управления (НКУ);
- навигационной аппаратуры потребителя (НАП).

Подсистема космических аппаратов включает в себя 24 НКА, размещенных в трех орбитальных плоскостях на круговых орбитах высотой 19100 км, наклонением 64,8° и периодом обращения 11 час. 15 мин. Орбитальные плоскости разнесены по долготе на 120°. В каждой из них размещается по восемь спутников с равномерным сдвигом по широте 45°. Такая конфигурация позволяет покрыть Землю и околоземное пространство непрерывным и глобальным навигационным полем (рис. 1).

Интервал повторяемости трасс движения НКА ГЛОНАСС и зон видимости НКА наземными средствами составляет 17 витков (около 8 суток).

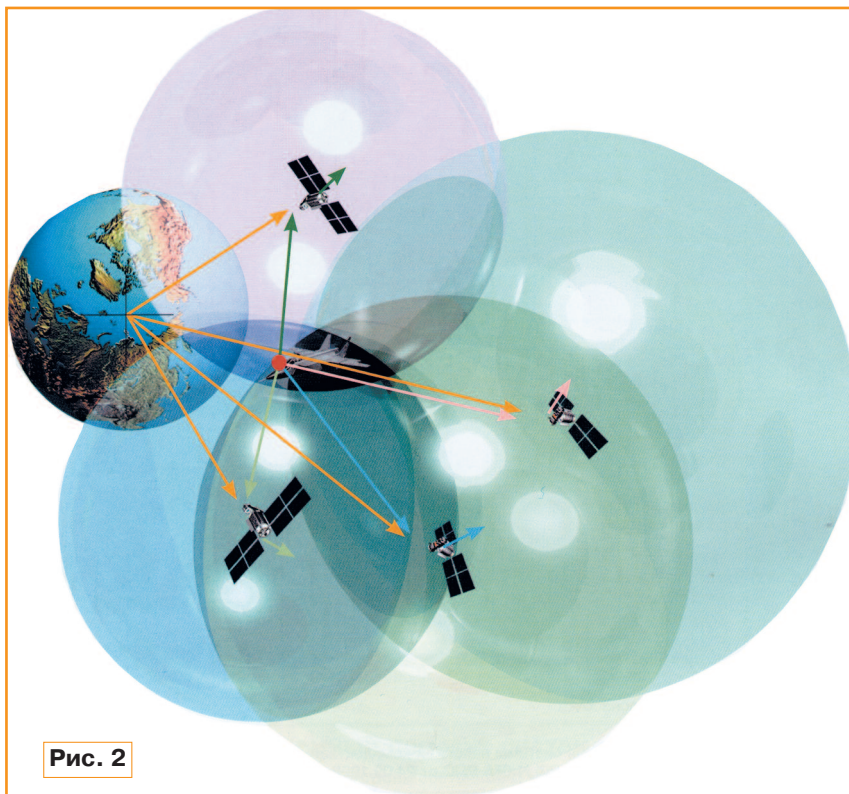


Рис. 2

Способ разделения сигналов, излучаемых различными спутниками системы ГЛОНАСС, — частотный. Сигналы спутников идентифицируются по значению номинала их несущей частоты, лежащей в отведенной полосе частот. Предусмотрены две частотные полосы в диапазонах L1 и L2. Частотная полоса в диапазоне L1 составляет 1602...1615 МГц, а частотная полоса в диапазоне L2 составляет 1246...1256 МГц. Каждый спутник непрерывно излучает радиосигналы в обоих диапазонах волн для исключения ионосферной погрешности измерения навигационных параметров. Для гражданских потребителей системы спутники ГЛОНАСС-М излучают радиосигналы, модулированные дальномерным кодом и служебной информацией, в диапазонах L1 и L2. Наряду с этим в диапазонах L1 и L2 передаются радиосигналы, модулированные специальным кодом и не предназначенные для гражданского использования.

Предусмотренная в дальнейшем модификация спутников (ГЛОНАСС-К) будет излучать гражданский сигнал также в диапазоне L3 — 1190...1212 МГц.

Принцип навигационных определений по НКА системы ГЛОНАСС заключается в измерении пользователем дальностей и радиальных скоростей до нескольких НКА, координаты которых (эфемериды НКА) передаются пользователю в составе радиосообщения от спутника (рис. 2).

Пользователь по приведенным ниже уравнениям вычисляет координаты точки пересечения сфер с радиусами, равными измеренным дальностям, и с центрами в точках нахождения НКА. Эта вычисленная точка и является местополо-

жением пользователя в трехмерном пространстве:

$$\left. \begin{aligned} D_i &= \sqrt{(\bar{S}_i - \bar{P})^2} + \Delta F \times C; \\ \dot{D}_i &= \frac{(\bar{S}_i - \bar{P})(\bar{V}_s - \bar{V}_n)}{D_i} + \Delta F \times C, \end{aligned} \right\}$$

где $i = 1, 2, 3, 4$; $\bar{P}, \bar{V}_n$ — определяемые векторы положения и скорости потребителя; $\bar{S}_i, \bar{V}_s$ — эфемериды НКА; $D_i, \dot{D}_i$ — измеряемые параметры (дальность и радиальная скорость); ΔF — разность фаз генераторов НКА и потребителя; ΔF — относительный уход частоты образцового генератора потребителя от частоты генератора НКА; C — скорость света.

Для вычисления трехмерного положения пользователя необходимо использовать дальности до четырех НКА.

Точное знание орбит НКА и высокая стабильность бортовых хранилищ времени позволяют обеспечить высокую точность вычисления положения потребителя.

При навигации на частоте L1 погрешность местоопределения с уровнем вероятности 95 % составляет в горизонтальной плоскости порядка 30 м и по высоте 60 м.

При полном переходе в систему на космические аппараты ГЛОНАСС-М с одновременным использованием частот L1 и L2 эта точность повысится до 10 и 20 м соответственно.

Первый НКА ГЛОНАСС-М, внешний вид которого приведен на обложке этого номера журнала, был выведен на орбиту в 2003 г. и имеет следующие основные эксплуатационные характеристики:

- срок активного существования — 7 лет;

- масса спутника — 1415 кг;
- площадь солнечных батарей — 30 м²;
- мощность бортовой системы электропитания — 1400 Вт;
- полезная нагрузка (бортовой навигационный радиотехнический комплекс) весит 260 кг и потребляет 650 Вт.

Конструктивное исполнение антенной системы и передатчиков НКА показано на **2-й с. обложки**.

Комплектование орбитальной группировки НКА производится следующим образом.

Сборка из трех космических аппаратов выводится на рабочую орбиту в одну из трех плоскостей мощной российской ракетой-носителем "Про-

тон-К" со специальным разгонным блоком РБ 11С861. Далее на рабочей орбите производится разделение сборки на отдельные космические аппараты, которые затем перемещаются вдоль орбиты в штатные точки размещения.

Наземный сегмент системы ГЛОНАСС включает в себя систему выведения НКА, наземный комплекс управления космическими аппаратами и систему эксплуатационного мониторинга состояния системы ГЛОНАСС.

Наземный комплекс управления решает задачи синхронизации бортовых хранителей времени НКА, их привязку к международной системе единого времени UTC, производит точное измерение параметров орбит и передачу их на

борт космических аппаратов, осуществляет телеметрический контроль состояния НКА и передачу на борт команд управления. Наземный комплекс управления и система мониторинга включают в себя большое количество объектов — пунктов управления, радиотелеметрических станций передачи команд, лазерных локационных систем для точного измерения параметров орбит, размещенных по всей территории России и в ряде смежных государств. Указанные объекты соединены с Центром управления системы и между собой разветвленной системой связи и передачи данных.

(Окончание следует)