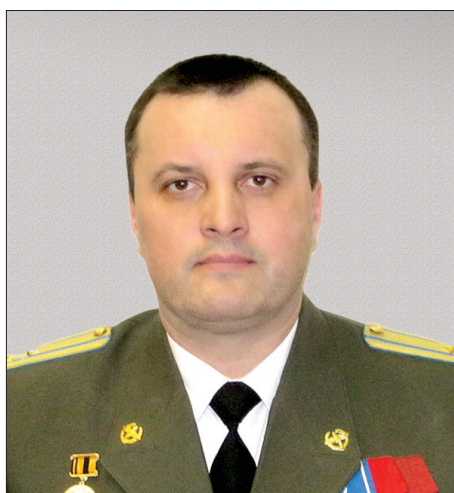


# ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ



Олег Борисович Гузенко

ВРЕМЕННО ИСПОЛНЯЮЩИЙ ОБЯЗАННОСТИ ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ВОЕННО-НАУЧНОГО КОМИТЕТА  
ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПОЛКОВНИК

Спутниковая навигация начиналась с создания космической навигационной системы первого поколения, в которой использовался доплеровский метод навигации. С помощью таких систем потребитель определяет свое местоположение на поверхности Земли (что приемлемо для морских пользователей) с периодичностью 1,5 часа и точностью до 1 км. Эти характеристики обеспечивались за счет выбора орбиты (круговой, приполярной, высотой ~1 тыс. км) и количества спутников на орбитах функционирования (4–6). Запуск первого навигационного спутника был осуществлен 23 ноября 1967 года с космодрома Плесецк с помощью ракеты 11К65М. После успешных летных испытаний система в 1970 году была принята в эксплуатацию.

Успешная эксплуатация низкоорбитальных спутниковых навигационных систем морскими потребителями привлекла широкое внимание к спутниковой навигации со стороны других потребителей. Возникла необходимость создания универсальной навигационной системы, удовлетворяющей требованиям всех потенциальных пользователей: авиации, морского флота, наземных транспортных средств и космических кораблей. Она должна обеспечивать мгновенное определение местоположения в пространстве (широта, долгота, высота), поправки скорости и времени с высокой точностью, в любое время года и суток, в любом месте Земли и околоземного воздушного и космического пространства. Этим требованиям удовлетворяет спутниковая навигационная система второго поколения, использующая дальномерные методы навигационных определений (ГЛОНАСС).

Исходя из принципа навигационных определений была выбрана структура спутниковой системы (18–24 космических аппарата (КА) на орбитах высотой около 20 тыс. км),

которая обеспечивает одновременную радиовидимость потребителем, находящимся в любой точке Земли, не менее 4 спутников.

Решаемые космической навигационной системой ГЛОНАСС задачи:

- непрерывная оперативная передача навигационных сигналов для определения координат и составляющих вектора скорости потребителям Минобороны России и гражданским пользователям в любом районе земного шара, воздушного и околоземного космического пространства;
- передача поправок о расхождении шкалы времени системы относительно шкалы госэталона и шкалы времени госэталона относительно всемирного времени.



1. Сборка КА «Глонасс-К» в ОАО «ИСС»
2. Макет КА «Глонасс-М»
- 3, 4, 7. Носимая НАП военного назначения
5. Макет КА «Глонасс-К»
6. Подготовка тройки НКА «Глонасс-М» к запуску
8. Станция системы дистанционного контроля и мониторинга в Антарктиде

Запуск первого навигационного спутника 11Ф654 был осуществлен с помощью ракеты-носителя «Протон» с космодрома Байконур 12 октября 1982 года. В прошлом году была отмечена одна из знаменательных дат для отечественной космонавтики – 30 лет космической навигационной системе ГЛОНАСС.

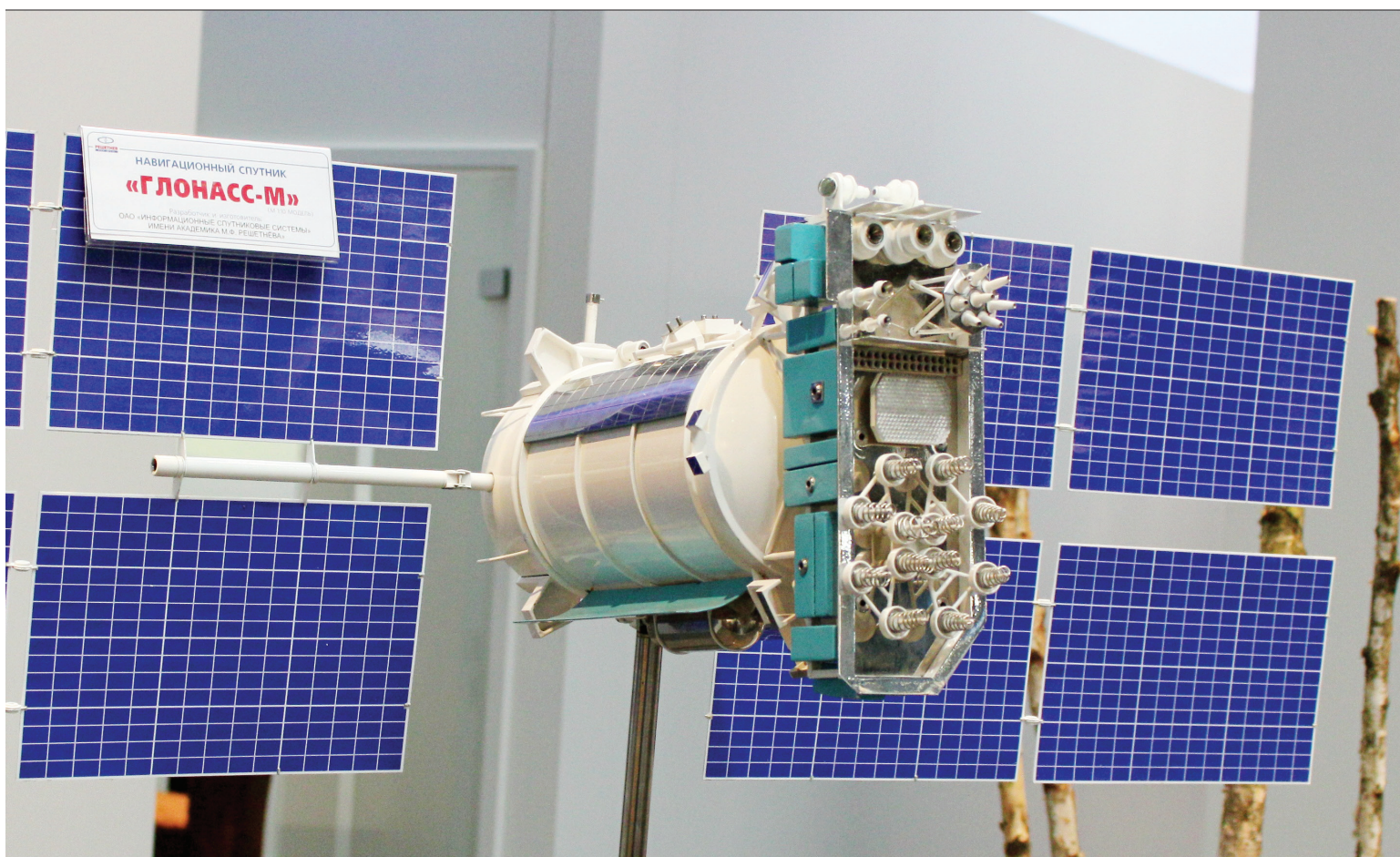
Система была принята в опытную эксплуатацию в составе 12 спутников на орбите в 1993 году (распоряжение Президента Российской Федерации от 24 сентября 1993 года №658-рпс), а в 1995 году развернута до полного состава из 24 спутников.



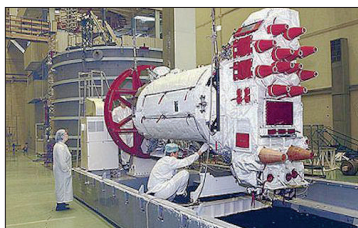
ГЛОНАСС включала в себя следующие составные части:

- орбитальную группировку навигационных космических аппаратов (ОГ НКА);
- ракетно-космический комплекс (на основе ракеты-носителя «Протон» с разгонным блоком ДМ), обеспечивающий групповой вывод на орбиту по 3 КА «Глонасс»;
- наземный комплекс управления КА, включающий систему синхронизации.

Орбитальная группировка ГЛОНАСС состоит из 24 навигационных космических аппаратов (НКА), находящихся на круговых орбитах на высоте 19,1 тыс. км, с наклоном 64,8° и периодом обращения 11 часов 15 минут 44 секунды в трех орбитальных плоскостях, разнесенных по долготе на 120°. В каждой плоскости размещено по 8 НКА с равномерным



9



10



9. Подготовка КА «Глонасс-М» в ОАО «ИСС» к отправке на космодром

10 Старт ракеты-носителя «Протон»

сдвигом по аргументу широты на 45°. Кроме того, плоскости сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на 15°.

Такая конфигурация орбитальной структуры обеспечивает одновременное наблюдение в любой точке поверхности Земли (при угле радиовидимости не менее 10°) не менее 5 спутников на 99,5% земной поверхности.

На момент развертывания система ГЛОНАСС обеспечивала следующие погрешности местоопределения:

- 20–30 м по плановым координатам (за счет космического сегмента, без учета погрешностей аппаратуры потребителя);
- 10–20 м по высоте;
- 0,03–0,05 м/с по скорости.

Точность привязки шкалы времени потребителя к шкале времени системы – 1 мкс.

В эти же годы в США была разработана и принята на вооружение аналогичная навигационная система NAVSTAR (GPS) с практически аналогичными характеристиками:

- 17,8 м по координатам места;
- 27,7 м по высоте;
- 0,2 м/с по составляющей вектора скорости.

Точность привязки шкалы времени потребителя к шкале времени системы – 0,1 мкс.

За годы, прошедшие с первого запуска, ГЛОНАСС пережила и период подъема и период упадка.

Срок активного существования КА «Глонасс» составлял три года. Для поддержания орбитальной группировки ГЛОНАСС необходимо было проводить запуски по одному-два блока (3–6 КА) в год. Однако из-за недостаточного финансирования орбитальная группировка ГЛОНАСС в течение трех лет не восполнялась (с декабря 1995 года по декабрь 1998 года), в последующие годы проводилось по одному пуску в год, в результате чего она начала деградировать, и в 2001 году по целевому назначению использовалось всего 6 КА.

Сокращение состава этой орбитальной группировки сдерживало внедрение ГЛОНАСС в различные сферы военной и гражданской деятельности, так как существующая орбитальная группировка не обеспечивала выполнение требований непрерывности и глобальности, предъявляемых как военными, так и гражданскими пользователями.

В перспективе этот процесс мог привести к полной утрате Россией системы ГЛОНАСС.

В 2001 году постановлением Правительства Российской Федерации от 20 августа 2001 года №587 была начата Федеральная целевая программа «Глобальная навигационная система», направленная на возрождение и дальнейшее совершенствование российской спутниковой навигации.

В рамках данной программы предполагалось:

- создать две модификации навигационных КА – «Глонасс-М» и «Глонасс-К»;
- провести глубокую модернизацию наземной инфраструктуры спутниковой навигационной системы;
- выполнить развертывание к 2009 году орбитальной группировки ГЛОНАСС до штатного состава и поддержание ее на уровне, обеспечивающем решение навигационных задач в интересах различных потребителей;
- создать и обеспечить производство конкурентоспособной отечественной навигационной потребительской аппаратуры в интересах различных классов потребителей и внедрить навигационные технологии в различных областях социально-экономической сферы и при решении задач обеспечения безопасности страны;
- создать научно-технический и технологический заделы для использования при создании перспективной спутниковой навигационной системы.

Основные цели программы:

- дальнейшее развитие и эффективное использование Глобальной навигационной спутниковой системы в интересах социально-экономического развития страны и обеспечения национальной безопасности;
- сохранение Россией лидирующих позиций в области спутниковой навигации за счет гарантированного предоставления навигационных сигналов отечественным и зарубежным потребителям.

Основные задачи программы:

- развитие и поддержание характеристик системы ГЛОНАСС, обеспечивающих уровень навигационного обслуживания потребителей, сопоставимый с зарубежными



- аналогами, включая поддержание орбитальной группировки системы ГЛОНАСС на уровне, позволяющем применять ее в государственном и глобальном масштабе;
- создание космических аппаратов нового поколения с улучшенными тактико-техническими характеристиками;
  - модернизация и создание новых средств наземной космической инфраструктуры системы ГЛОНАСС;
  - модернизация средств государственного эталона времени и частоты;
  - модернизация средств определения параметров вращения Земли;
  - создание высокоэффективной системы геодезического обеспечения территории Российской Федерации с использованием системы ГЛОНАСС;
  - создание функциональных дополнений глобальных навигационных систем для повышения точностных характеристик геодезического и навигационного обеспечения потребителей;
  - создание средств и условий, обеспечивающих массовое применение технологий спутниковой навигации, включая образцы конкурентоспособной навигационной аппаратуры потребителей (НАП) и системы на ее основе;
  - создание средств для широкомасштабного применения технологий спутниковой навигации на базе системы ГЛОНАСС при решении прикладных и фундаментальных научных задач, в том числе для государственных нужд;
  - реализация пилотных проектов с целью дальнейшего внедрения услуг, предоставляемых с использованием системы ГЛОНАСС;
  - создание открытых цифровых навигационных карт для широкого применения;
  - создание нормативной правовой базы, обеспечивающей широкомасштабное применение технологий спутниковой навигации на базе системы ГЛОНАСС в социально-экономической сфере;
  - комплексирование радиотехнических систем дальней навигации с системой ГЛОНАСС для повышения надежности навигационного обеспечения различных потребителей;
  - обеспечение выполнения международных обязательств и соглашений Российской Федерации в области спутниковой навигации;
  - расширение использования ГЛОНАСС зарубежными потребителями и совместного ее функционирования с зарубежными аналогами;
  - создание научно-технического и технологического заделов для дальнейшего развития технологий координатно-временного и навигационного обеспечения Российской Федерации.

В 2008 году были разработаны и утверждены Минобороны России и Федеральным космическим агентством тактико-технические требования (ТТТ) к ГЛОНАСС, в том числе к средствам функциональных дополнений, потребительскому сегменту и средствам фундаментального обеспечения точностных характеристик системы – практически во всех областях, охваченных ФЦП «Глобальная навигационная система». ТТТ нужны были, чтобы увязать взаимные характеристики разрабатываемых систем и обеспечить наибольший эффект от их разработки.

Предполагались три результирующих этапа во внедрении ТТТ. Первый этап связан с обеспечением непрерывной навигации на территории Российской Федерации, второй – с обеспечением глобальной непрерывной навигации, третий – с доведением основных тактико-технических характеристик системы ГЛОНАСС до уровня, сравнимого с зарубежными аналогами и обеспечивающего ее конкурентоспособность.

Соответственно, должны быть достигнуты следующие точностные характеристики: эквивалентная погрешность псевдодалности, скорости и определения времени потребителем в системной шкале времени КК ГЛОНАСС в пространстве за счет ошибок космического сегмента с вероятностью 0,95 не должна превышать указанные в таблице 1 целевые характеристики.

Таблица 1

## ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ГЛОНАСС

Целевые характеристики	Этап 1	Этап 2	Этап 3
Псевдодальность, м	6,2	3,5	1,4
Скорость, м/с	0,013	0,010	0,007
Привязка к системной шкале времени, нс	100	40	12

Если рассматривать результаты в целом, то основная цель ФЦП все-таки достигнута: российская спутниковая навигационная система сохранена, прошла этап модернизации, в мире в настоящее время имеется две спутниковые системы глобальной навигации – GPS и ГЛОНАСС.

В рамках ФЦП были решены следующие основные задачи:

1. Восстановлена орбитальная группировка ГЛОНАСС. На орбите на 1 декабря 2012 года находилось 28 жизнеспособных КА «Глонасс-М», 24 из них функционировали по целевому назначению, 4 КА находились в резерве (№12, 14, 22, 43).
2. Проведена модернизация орбитальной группировки ГЛОНАСС. Она состоит из навигационных КА второго поколения «Глонасс-М». Летные испытания проходит НКА третьего поколения серии «Глонасс-К».
3. Проведена модернизация наземного комплекса управления орбитальной группировкой (ОГ), который в совокупности с КА ОГ обеспечивает точностные характеристики системы на уровне, сопоставимом с системой GPS.
4. Проведена модернизация средств государственного эталона времени и частоты.
5. Проведена модернизация средств определения параметров вращения Земли.
6. Созданы опытные образцы функциональных дополнений глобальных навигационных систем.
7. В рамках 5-й подпрограммы разработано 58 образцов НАП и систем на их основе, более 30 тыс. комплектов НАП и средств поступило в войска.

Реализация мероприятий, запланированных в рамках 5-й подпрограммы ФЦП «Глобальная навигационная система» и государственной программы вооружений, позволила обеспечить:

1. Создание массового парка НАП, удовлетворяющего первоочередные потребности Вооруженных Сил Российской Федерации. При этом к 2015 году планируется довести количество поставленной аппаратуры до 60 тыс. комплектов.
2. Реализацию унифицированного подхода к разработке НАП нового поколения на единой элементной базе.
3. Создание широкой номенклатуры НАП, в том числе для решения специализированных задач, с основными характеристиками, не уступающими зарубежным аналогам и удовлетворяющими основным требованиям, предъявляемым специальными потребителями к координатно-временному обеспечению.

В рамках 2-й подпрограммы также разработано большое количество образцов базовых приемоизмерительных модулей, навигационно-временной аппаратуры гражданского назначения и систем на их основе (55 образцов на конец сентября 2011 года).

В 2009 году были завершены летные испытания ГЛОНАСС с КА «Глонасс-М».

Однако не все запланированные в рамках ФЦП показатели достигнуты ко времени ее завершения:

- глобальная навигационная система, состав которой и основные требования закреплены ТТТ, пока остается только на бумаге;
- принципы и основные направления построения ГЛОНАСС, взаимодействие ее составных частей до конца не сформированы;
- космический комплекс в настоящее время не обеспечивает выполнение ТТТ к ГЛОНАСС (этап 3) и показатели ФЦП из-за незавершения госиспытаний наземного комплекса управления (НКУ) ГЛОНАСС;

- создание образцов дифференциальных подсистем не привело до настоящего времени к созданию единой дифференциальной системы России;
- не разработаны предложения по организационной, информационной и технической интеграции комплексов функциональных дополнений (систем их использующих) в интересах специальных пользователей и для решения задач социально-экономического назначения;
- средства фундаментального обеспечения не обеспечивают требуемые в НКУ ГЛОНАСС погрешности взаимной привязки измерительных средств (ИС) и привязки ИС к государственной геоцентрической системе координат;
- перенос сроков реализации перспективных сигналов спецпотребителей на КА серии «Глонасс-К» второго этапа не позволил завершить работы по созданию системы поиска и спасания для Минобороны России;
- создание большого количества образцов НАП, средств функциональных дополнений и систем на их основе не привело до настоящего времени к массовому производству аппаратуры, работающей по сигналам ГЛОНАСС, и массовому внедрению навигационных технологий с использованием сигналов системы ГЛОНАСС в России.

Имеющиеся недостатки ни в коей мере не умаляют достигнутых результатов: система ГЛОНАСС возрождена, созданы предпосылки для широкомасштабного внедрения в России навигационных технологий по сигналам ГЛОНАСС, в продолжение работ постановлением Правительства Российской Федерации от 3 марта 2012 года №189 утверждена новая ФЦП – «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы».

Проблемой, на решение которой направлена эта федеральная целевая программа, является несоответствие достигнутого уровня развития ГЛОНАСС, темпов внедрения навигационных технологий опережающему росту спроса со стороны специальных и гражданских потребителей после 2011 года.

ГЛОНАСС нуждается в дальнейшей модернизации и развитии, для того чтобы соответствовать постоянно растущим требованиям потребителей, сохранить достигнутый уровень конкурентоспособности и паритет с зарубежными аналогами с учетом программ их развития, в первую очередь с американской GPS. При этом должно быть обеспечено эффективное использование системы ГЛОНАСС для обороны и безопасности государства, а также массовое ее использование для социально-экономического развития Российской Федерации и расширения международного сотрудничества в области спутниковой навигации.

Требования потребителей всех категорий к 2020 году значительно возрастут как в отношении точности (практически на порядок), так и в отношении доступности, надежности, оперативности. Предъявляются новые требования – обеспечение устойчивой навигации в условиях затенения видимых навигационных космических аппаратов (в городских и горных условиях), в закрытых помещениях, под водой, в условиях естественных и искусственных радиопомех, при открытом радиопротиводействии противника.

Повышение требований к точности, доступности и оперативности навигационных услуг связано с расширением применения технологий спутниковой навигации:

- в военной области: применение высокоточного оружия в широком диапазоне скоростей и динамических нагрузок, включая высокодинамичные объекты (артиллерийские снаряды, мины), реализация координатных методов управления в условиях радиопротиводействия противника, ограниченной радиовидимости и т.д.;
- в интересах других специальных потребителей (МВД России, МЧС России и др.);
- в стратегически важных гражданских отраслях экономики в интересах государственных потребителей: управление транспортом, разработка полезных ископаемых, транспортировка ценных и опасных грузов, синхронизация транспортировки нефти и газа, синхронизация систем связи и энергоснабжения, банковских операций;
- в гражданской области: организация дорожного движения, в том числе по платным дорогам, оплата парковок, разбор дорожно-транспортных происшествий, опреде-

ление страховых случаев, автоматическая обработка земельных угодий, контроль деформации сооружений в реальном времени и многие другие приложения.

Соответственно, основные тактико-технические характеристики ГЛОНАСС должны быть значительно улучшены за счет модернизации самой системы, проектирования новых космических сегментов, дополняющих ее, развития функциональных дополнений системы ГЛОНАСС, модернизации комплекса средств фундаментального обеспечения.

Развитие ГЛОНАСС осуществляется в условиях улучшения характеристик американской GPS, расширения ее использования во всем мире. Одновременно Евросоюз, Китай, Япония, Индия в соответствии с принятыми программами создают свои собственные спутниковые системы глобальной и региональной навигации, которые будут предоставлять услуги как своим специальным потребителям, так и потребителям всего мира. Поэтому для сохранения лидирующих позиций Российской Федерации на мировом рынке навигационных услуг, навигационной независимости должен быть обеспечен необходимый уровень конкурентоспособности системы ГЛОНАСС.