

Профессор
Глушков Валерий Васильевич

Заместитель начальника
Инновационного центра
«Российской корпорации ракетно-
космического приборостроения и
информационных систем»,
профессор МИРЭА

Лекция №2

Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС (РФ)

Изучаемые вопросы:

- 1. Краткая история создания и развития системы ГЛОНАСС.*
- 2. Назначение и состав системы ГЛОНАСС.*
- 3. Сетка используемых частот системы ГЛОНАСС.*

Рекомендуемая литература:

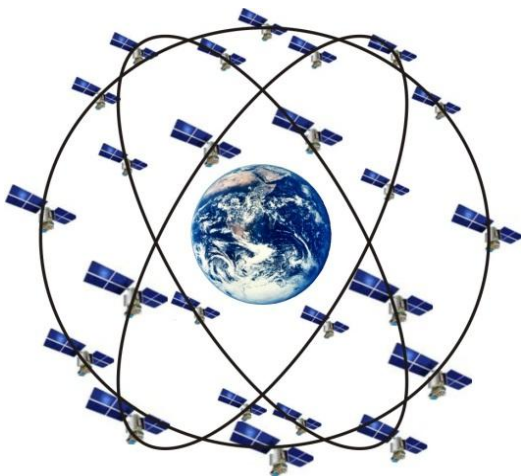
1. Малышев В.В., Куршин В.В., Ревнивых С. Г. Введение в спутниковую навигацию. – Изд. МАИ-Принт, 2008. -192 с.: ил.
2. Власов И.Б. Глобальные навигационные спутниковые системы: Учеб. Пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010.-200с.: ил.
3. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. - М.: Изд. Горячая линия-Телеком, 2005. - 272 с.: ил.
4. Соловьев Ю.А. Спутниковая навигация и её приложения. М., ЭКО-ТРЕНДЗ, 2003.
5. Глобальная навигационная система. Эл. источник: <http://www.krd.ru>.

В 1979 г. на основании Постановления Правительства СССР были разработаны Технические предложения на создание «Единой космической навигационной системы на базе КА 11Ф654» - СНС второго поколения, позже поименованной глобальной навигационной спутниковой системой (ГНСС) ГЛОНАСС.

Главными разработчиками системы ГЛОНАСС стали:

- Научно-производственное объединение прикладной механики (Красноярск-26) - С 2008 г. именуется ОАО «Информационные спутниковые системы» им. академика М. Ф. Решетнёва - **разработка системы в целом, НКА и программного обеспечения управления группировкой НКА;**
- Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения (Москва) - С 2015 г. именуется АО «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» (сокращенно АО «Российские космические системы») – **разработка наземного комплекса управления, бортовой аппаратуры НКА и навигационной аппаратуры пользователей;**
- Российский институт радионавигации и времени (Санкт-Петербург) – **разработка спутниковой и наземной аппаратуры систем синхронизации и времени.**

Первоначально система ГЛОНАСС разрабатывалась как система для удовлетворения нужд только военных потребителей, а позже как система двойного использования для удовлетворения нужд военных и гражданских потребителей. Система предназначалась для навигационного обеспечения не только морских судов, но и пилотируемых космических кораблей, воздушных судов и наземных мобильных объектов.



**Орбитальная группировка
НКА
системы ГЛОНАСС**

По замыслу, система ГЛОНАСС должна была состоять из трех основных компонент (космической подсистемы – 24 штатных НКА, обращающихся в трех орбитальных плоскостях на высоте порядка 20 тыс. км; наземной подсистемы управления; подсистемы потребителей).

Летные испытания (ЛИ) системы ГЛОНАСС были начаты 12 октября 1982 г. запуском первого НКА этой системы (Космос-1413) и двух габаритно-весовых макетов (ГВМ). В последующих шести запусках на орбиту выводились по два штатных НКА и по одному ГВМ, что было связано с неготовностью электронной аппаратуры НКА. Лишь с восьмого запуска в рамках развертывания системы ГЛОНАСС (1986 г.) на орбиту были выведены сразу три штатных НКА.

В состав бортовой аппаратуры НКА ГЛОНАСС входили: навигационный комп-лекс; комплекс управления; система ориен-тации и стабилизации; система коррек-ции; система терморегулирования; система электроснабжения.

Характеристики НКА ГЛОНАСС

Технический ресурс	3 года;
Масса спутника	1413 кг;
Мощность системы электропитания	1000 Вт;
Нестабильность бортового синхронизирующего устройства	5×10^{-13}
Погрешность ориентации на Землю	$0,5^\circ$
Погрешность ориентации на Солнце	2°
Полезная нагрузка:	
- масса	225 кг;
- энергопотребление	675 Вт;
Круговая орбита высотой	19 100 км;
Период обращения	11 час. 45 мин.;
Наклонение	$64,8^\circ$.



В процессе ЛИ :

- отработана технология навигационных определений;
- отработана технология эфемеридного и частотно-временного обеспечения (эфемериды – это набор пространственных координат НКА как функция времени);
- создано соответствующее программно-математическое обеспечение;
- реализованы новые технические решения по созданию НКА и его бортовых систем;
- решено ряд научных проблем, в том числе проблема высокоточного определения и прогнозирования параметров орбит НКА.

Кроме того, в процессе ЛИ были реализованы новые технические решения по построению НКА и его бортовых систем:

- высокостабильного стандарта частоты;
- магнитной системы разгрузки;
- двигательной установки;
- системы ориентации;
- аварийной закрутки НКА для обеспечения живучести и др.

Координатное (геодезическое) обеспечение системы ГЛОНАСС



Одновременно с ЛИ решалась задача геодезического обеспечения поэтапного развертывания системы ГЛОНАСС. Она была возложена на Военно-топографическое управление Генерального штаба Вооруженных Сил РФ.

Для геодезического обеспечения орбитальных полетов НКА системы ГЛОНАСС и решения навигационных задач первоначально была использована Система геодезических «Параметров Земли 1990 года» (ПЗ-90), которая включает основные астрономические и геодезические постоянные, в том числе параметры общеземного эллипсоида, координаты наземных пунктов космической геодезической сети, элементы связи с референц-системами координат, планетарные модели нормального и аномального гравитационного поля Земли (ГПЗ), а также детальные характеристики ГПЗ в Мировом океане (высоты квазигеоида, аномалии силы тяжести и отклонения отвесных линий).

Система ПЗ-90 была введена Постановлением Правительства РФ №568 от 28 июля 2000 г. «Об установлении единых государственных систем координат» с 1 июля 2002 г..

Система ПЗ-90 позже уточнялась дважды: в 2007 г. (ПЗ-90.02) и в 2012 г. (ПЗ-90.11). К практическому использованию ПЗ-90.11 при эксплуатации ГНСС ГЛОНАСС Министерство обороны РФ совместно с Федеральным космическим агентством перешли с 1 января 2014 г.



Пассивный геодезический КА «Эталон»

В 1989 г. вместе с двумя НКА на орбиту дважды выводились пассивные геодезические КА «Эталон», предназначенные для получения информации о динамике движения НКА на заданных высотах (данных о влиянии на орбиты погрешностей вывода параметров ГПЗ, светового давления, притяжения Луны и планет, неравномерности вращения Земли и движения ее полюсов, а также исключению действия на НКА реактивных сил, вызванных негерметичностью двигательных установок, газоотделением материалов покрытий и др.).

КА «Эталон» оборудованы лазерными уголковыми отражателями (для дальномерных измерений с помощью наземных квантово-оптических средств). Они были рассчитаны на эксплуатацию в течение 5 лет, однако функционируют до сих пор и активно используются международным сообществом для решения ряда фундаментальных задач геодезии и динамики Земли.

Система ГЛОНАСС в 1990-х гг.

В 1993 г. система ГЛОНАСС была принята в эксплуатацию с орбитальной группировкой ограниченного состава (12 НКА).

В конце 1995 г. орбитальная группировка НКА ГЛОНАСС была развернута до полного состава (24 штатных, 1 резервный НКА).

Однако в период 1995-2001 гг. в связи с разразившимся экономическим кризисом в нашей стране, недостаточным финансированием ракетно-космической отрасли, небольшим сроком активного существования НКА произошла деградация системы ГЛОНАСС, эффективность ее использования значительно понизилась, количество действующих НКА постоянно уменьшалось **(к 2001 г. было запущено на орбиту 88 НКА ГЛОНАСС, но действующих оставалось только 6).**

С 1998 г. система ГЛОНАСС стала рассматриваться как национальное достояние России. В связи с этим руководством страны, учеными и специалистами отечественной ракетно-космической промышленности были предприняты колоссальные усилия по ее восстановлению и развитию. Распоряжением Президента РФ № 38-рп от 18 февраля 1999 г. системе ГЛОНАСС был придан статус двойного (военного и гражданского) назначения.

Система ГЛОНАСС в 2000-х гг. - 1

В 2001 г. была утверждена Федеральная целевая программа (ФЦП) «Глобальная навигационная система» на 2002-2011 гг. Согласно ФЦП полное покрытие территории России планировалось осуществить уже в начале 2008 г. (для этого достаточно было иметь на орбитах 18 штатных НКА), а глобальное покрытие всего земного шара (при наличии 24 НКА) система должна была обеспечить к началу 2010 г.

Программа создания и поддержания орбитальной группировки НКА системы ГЛОНАСС на период 2001-2011 гг. включала два этапа: **1-й этап (2001-2007 гг.)** - создание НКА ГЛОНАСС-М с увеличенным ресурсом активного существования и улучшенными характеристиками и развертывание на его основе орбитальной группировки из 18-24 НКА;

НКА ГЛОНАСС-М основан на сходных с НКА ГЛОНАСС проектно-конструкторских решениях и на общей космической платформе герметичного исполнения. Основные изменения в модернизированном НКА свелись прежде всего к модификации антенно-фидерного устройства, увеличению срока активного существования и введению второй навигационной частоты для гражданских пользователей.

НКА ГЛОНАСС-М конструктивно состоит из цилиндрического гермоконтейнера с приборным блоком, рамы антенно-фидерных устройств, приборов системы ориентации, панелей солнечных батарей с приводами, блока двигательной установки и жалюзи системы терморегулирования с приводами.

На НКА ГЛОНАСС-М установлены оптические уголкового отражатели, предназначенные для калибровки радиосигналов наземной измерительной системы с помощью измерений дальности до НКА в оптическом диапазоне, а также для уточнения геодинимических параметров модели движения НКА.

Первый запуск НКА ГЛОНАСС-М был осуществлен
10 декабря 2003 г., последний – 7 февраля 2016 г.

Характеристики НКА ГЛОНАСС-М

Технический ресурс	7 лет;
Масса спутника	1415 кг;
Мощность системы электропитания	1450 Вт;
Нестабильность бортового синхронизирующего устройства	1×10^{-13}
Погрешность ориентации на Землю	0,5°
Погрешность ориентации на Солнце	2°
Полезная нагрузка:	
- масса	250 кг;
- энергопотребление	580 Вт;
Круговая орбита высотой	19 100 км;
Период обращения	11 час. 45 мин.;
Наклонение	64,8°.



Система ГЛОНАСС в 2000-х гг. - 2

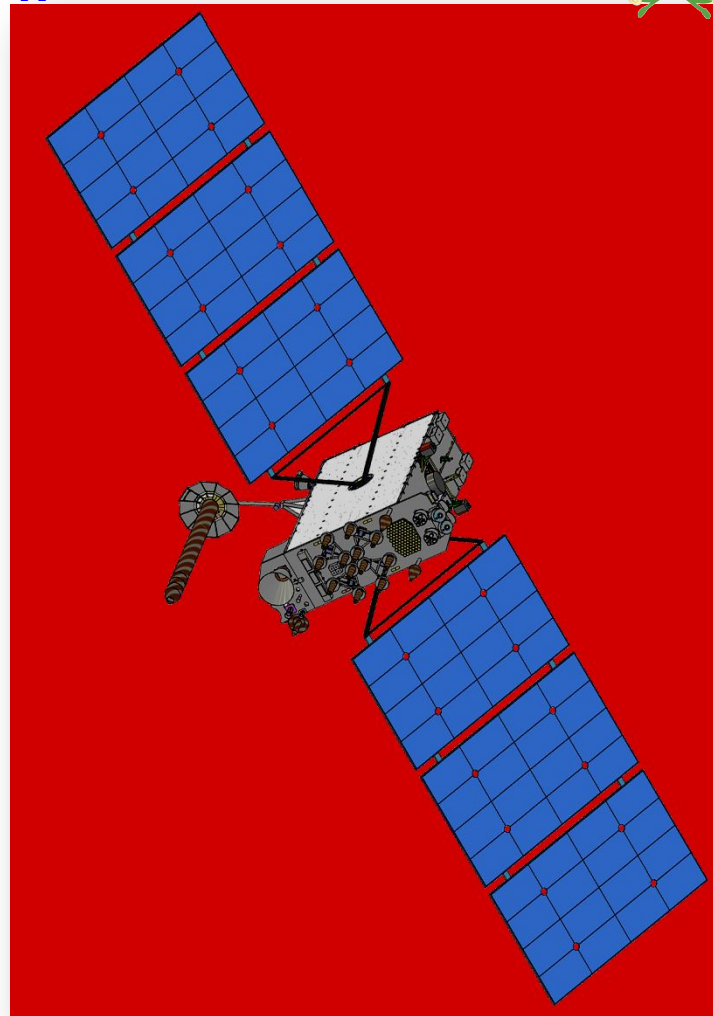
2-й этап (2007-2011 гг.) вышеупомянутой Программы создания и поддержания орбитальной группировки НКА системы ГЛОНАСС – предусматривал создание на базе негерметичной спутниковой платформы **маломассогабаритного НКА нового поколения ГЛОНАСС-К** с улучшенными характеристиками, развертывание на его основе орбитальной группировки из 24 НКА (путем замены отработавших свой ресурс НКА ГЛОНАСС-М).

На борту НКА ГЛОНАСС-К размещена дополнительная полезная нагрузка – бортовой радиокomплекс, функционирующий как элемент международной космической системы поиска и спасания терпящих бедствие КОСПАС-САРСАТ, а также аппаратура, предназначенная для межспутниковых измерений и информационного обмена по межспутниковой радиолнии.

Первый запуск НКА ГЛОНАСС-К был осуществлен в 2011 г., второй – в 2014 г.

Характеристики НКА ГЛОНАСС-К

Технический ресурс	10 лет;
Масса спутника	855 кг;
Мощность системы электропитания	1270 Вт;
Нестабильность бортового синхронизирующего устройства	5×10^{-14}
Погрешность ориентации на Землю	$0,5^\circ$
Погрешность ориентации на Солнце	2°
Полезная нагрузка:	
- масса	260 кг;
- энергопотребление	750 Вт;
Круговая орбита высотой	19 100 км;
Период обращения	11 час. 45 мин.;
Наклонение	$64,8^\circ$.



Первая ФЦП «Глобальная навигационная система» была успешно завершена в конце 2011 г. К тому времени орбитальная группировка системы ГЛОНАСС включала 31 НКА, из которых 24 НКА использовались по целевому назначению, остальные находились на техническом обслуживании, на этапе ЛИ (НКА ГЛОНАСС-К), в орбитальном резерве. Точность определения координат средствами системы ГЛОНАСС (среднеквадратическая погрешность) составляла 5,6 м, что удовлетворяло требованиям большинства потребителей (в 2006 г. эта величина была на уровне 35-50 м).

Доступность навигационного поля системы ГЛОНАСС составляла: на территории России - 100%; глобально - 100% (в 2002 г. глобальная доступность навигационного поля системы ГЛОНАСС составляла только 18%).

Основное содержание ФЦП «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012-2020 годы»



Утверждена соответствующим

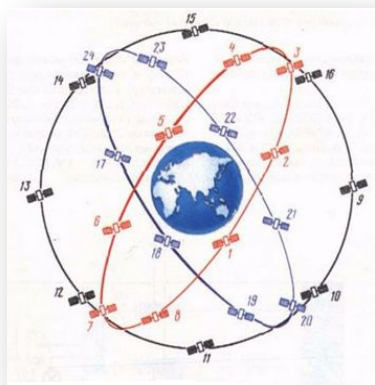
Цель ФЦП: Расширение номенклатуры внедрения отечественных спутниковых навигационных технологий и услуг с использованием системы ГЛОНАСС в интересах специальных и гражданских (в том числе коммерческих и научных) потребителей, международного использования спутниковых навигационных российских технологий за счет поддержания и развития системы ГЛОНАСС.

I этап – 2012-2015 гг., II этап – 2016-2020 гг. Предполагается, что вклад ФЦП в социально-экономическое развитие страны будет отражен в улучшении тактико-технических характеристик системы ГЛОНАСС, расширении использования ее на мировом рынке навигационных услуг, расширении качества и количества услуг, предоставляемых с использованием возможностей системы ГЛОНАСС, увеличении эффективности геологоразведки, строительства, связи, производства и распределения электроэнергии, сельского хозяйства, создании новых технологий военного и гражданского назначения, повышении эффективности и боевых возможностей Вооруженных Сил РФ.

Для поддержания орбитальной группировки НКА **в 2012-2020 гг. запланирован запуск 13 НКА ГЛОНАСС-М и 22 НКА ГЛОНАСС-К.** Последние будут заменять на орбите выработавшие ресурс НКА предыдущего поколения. Для запуска указанных НКА **будет построено 8 ракет-носителей «Протон-М» и 11 ракет-носителей «Союз-2.1б».**

В 2013 г. завершилась в основном модернизация наземного комплекса управления, в недалекой перспективе будет существенно расширена сеть измерительных станций в России и за рубежом.

Состав системы ГЛОНАСС (основные компоненты)



Орбитальная группировка НКА



Наземный комплекс управления



Ракетно-космический комплекс

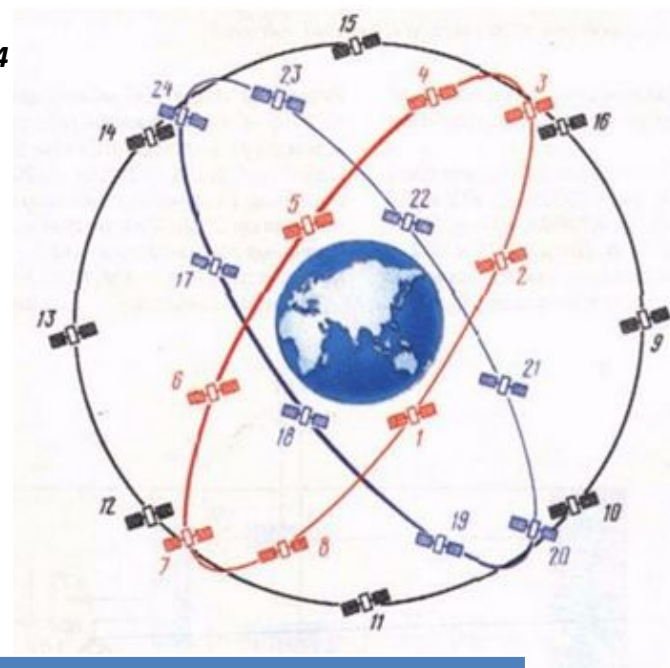


Подсистема потребителя

Количество штатных НКА при полном развертывании **24**
 Количество орбитальных плоскостей **3**
 Количество спутников в каждой плоскости **8**
 Тип орбиты **Круговая**
 Высота орбиты **19 100 км**
 Наклонение орбиты к экватору **64,8°**
 Период обращения **11 ч 15 мин. 44 с**
 Интервал повторяемости трасс движения НКА и зон радиовидимости НКА наземными средствами **17 витков (7 суток 23 ч 27 мин. 28 с).**

Определяемые параметры:

координаты;
 составляющие вектора скорости;
 поправки часов, точное время.



Всего в составе системы ГЛОНАСС (26.10.2015 г.)	28 НКА
Используются по целевому назначению	23 НКА
На этапе ввода в систему	-
Временно выведены на техобслуживание	1 НКА
Орбитальный резерв	-
На этапе летных испытаний	2 НКА
На исследовании Главного конструктора	2 НКА

Основными функциями каждого НКА являются: формирование и излучение маломощных радиосигналов, необходимых для навигационных определений потребителей и контроля бортовых систем.

Радиосигнал, излучаемый НКА ГЛОНАСС, состоит из двух частей:

- первая часть - это псевдослучайный дальномерный код;
- вторая часть - это цифровая информация навигационного сообщения, подразделяемая на оперативную и неоперативную.

Оперативная информация касается конкретного НКА, с борта которого передается сигнал. Она включает в себя оцифровку меток времени этого НКА, сдвиг шкалы времени НКА относительного шкалы системного времени ГЛОНАСС, отличие несущей частоты сигнала от его номинального значения, эфемеридную информацию.

Неоперативная информация содержится в альманахе (хранилище параметров орбит всех НКА).

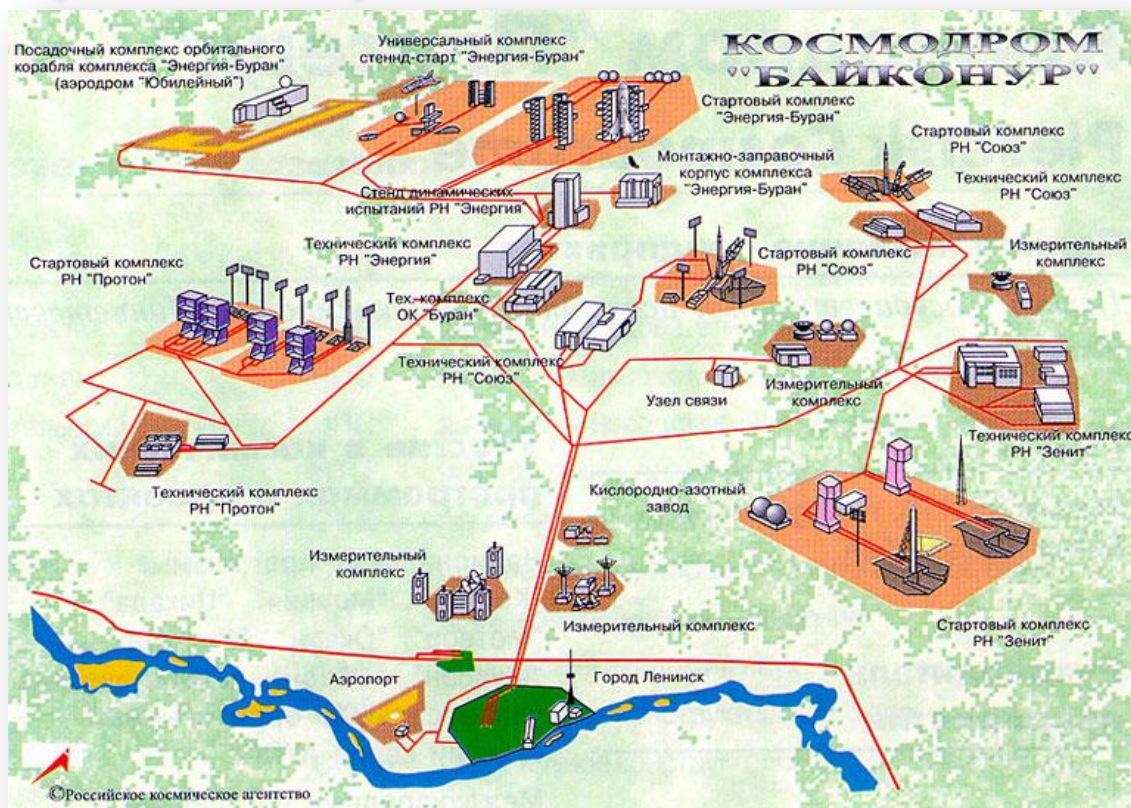
В целом же ОГ НКА представляет собой совокупность источников радионавигационных сигналов, передающих одновременно значительный объем служебной информации. Она создает в околоземном пространстве глобальное радионавигационное поле, позволяющее определять координаты потребителей, их скорости, направления движения и поправки часов. При этом наземный потребитель системы ГЛОНАСС может гарантированно принимать одновременно сигналы от 4-6 НКА. Последние могут быть перегруппированы по команде с наземной станции управления, но в связи с ограниченным запасом топлива на борту НКА это практикуется только в исключительных случаях.

Предполагается, что в недалекой перспективе штатная группировка системы ГЛОНАСС будет увеличена до **30 НКА**, а для повышения точности навигационных определений в приполярных районах земного шара (Арктика, Антарктика) будут дополнительно использоваться еще **4-6 КА**, запущенные на геосинхронные орбиты с высотой полета порядка **36 тыс. км**.

Ракетно-космический комплекс (РКК)

В состав РКК системы ГЛОНАСС входят **космодромы «Байконур» (Республика Казахстан) и «Плесецк» (Российская Федерация)**. Они обеспечивают периодическое восполнение орбитальной группировки НКА по мере их выхода из строя или выработки ресурса.

Главными объектами типового космодрома являются техническая позиция и стартовый комплекс. Техническая позиция обеспечивает прием, хранение и сборку ракет-носителей с НКА, их испытания, заправку и состыковку, стартовый комплекс – доставку ракеты-носителя с НКА на стартовую площадку, установку его на пусковую систему, предполетные испытания, заправку, наведение и пуск.



Средства выведения НКА ГЛОНАСС на

Выведение НКА ГЛОНАСС-М на орбиту до недавнего времени осуществлялся ракетой-носителем тяжелого класса **«ПРОТОН»** (**«ПРОТОН-К»**, **«ПРОТОН-М»**) с разгонным блоком **«Бриз-М»** с космодрома «Байконур». При этом носитель был способен вывести на орбиты одновременно три НКА системы ГЛОНАСС.



Ракета-носитель **«ПРОТОН-М»**

Одиночные НКА ГЛОНАСС-К1 (с 2016 г. и НКА ГЛОНАСС-М) запускают с космодрома «Плесецк» с помощью универсальной ракеты-носителя **«Союз-2.1б»** с разгон-ным блоком «Фрегат»



Ракета-носитель **«Союз-2.1б»**

Наземный комплекс управления (НКУ)

Наземный комплекс управления (НКУ) предназначен для решения двух основных задач:

1. Управление орбитальной группировкой НКА: контроль бортовых систем; закладка на борт необходимых команд и специальной информации; поддержание заданной конфигурации группировки НКА; планирование; проведение регламентных работ; принятие необходимых мер в нештатных ситуациях и др.

2. Эфемеридно-временное обеспечение: определение параметров орбит НКА, расхождений часов каждого НКА относительно системной шкалы времени; передача на борт НКА информации об их точном положении и расхождении бортовых часов с системной шкалой времени; передача в навигационном сигнале указанной информации потребителям; контроль характеристик навигационного поля и др.

Состав НКУ:

ЦУС – центр управления системой.

НКП – наземный командный пункт.

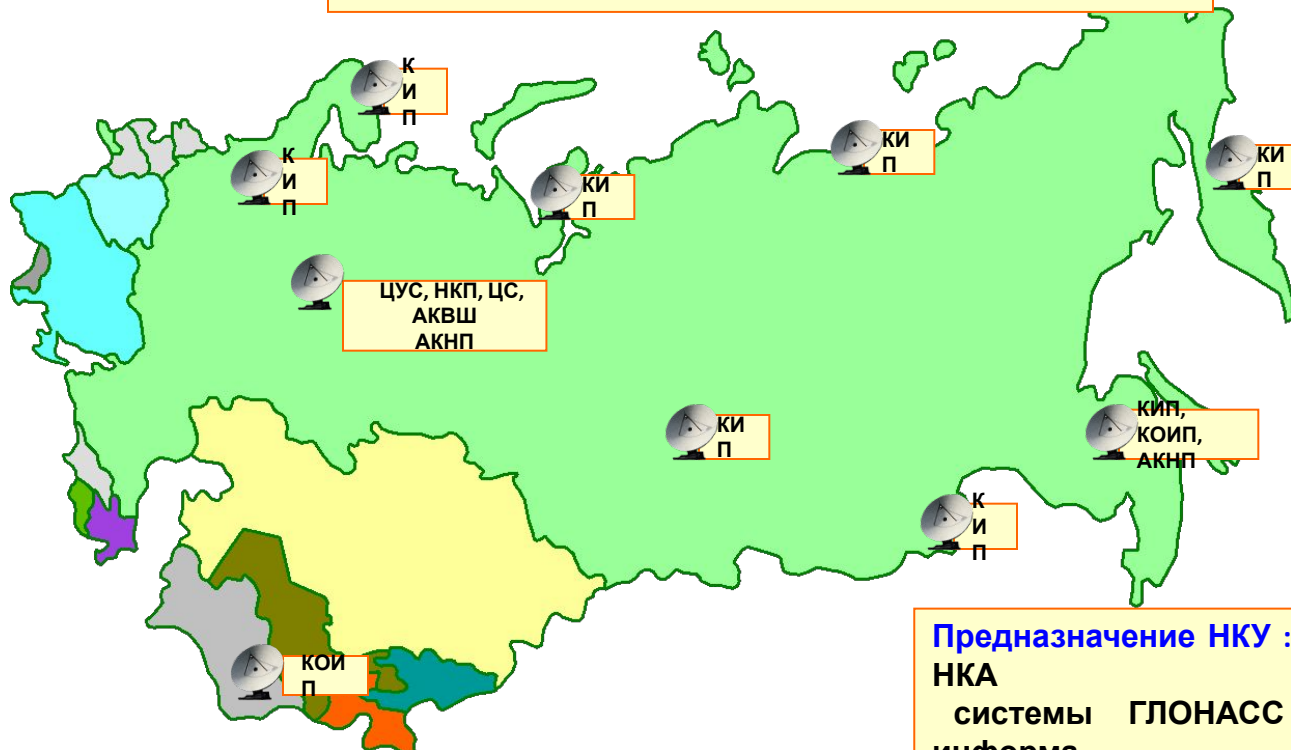
ЦС – центральный синхронизатор (часы системы) .

АКВШ – аппаратура контроля временных шкал.

АКНП – аппаратура контроля навигационного поля.

КИП – командно - измерительные пункт.

КОИП – квантово - оптический измерительный пункт.



Предназначение НКУ : обеспечение НКА

системы ГЛОНАСС служебной информацией, необходимой для проведения нави-

Наземный комплекс управления (НКУ) системой ГЛОНАСС предназначен для проведения сеансов, а также для контроля и управления НКА.

Комплекс средств функциональных дополнений представляет собой совокупность специальной аппаратуры наземного и космического базирования, обеспечивающей потребителей в определенном регионе или локальной области: повышение точности навигационных определений почти на порядок; доведение до потребителей информации о нарушении целостности навигационного обеспечения по радиосигналам НКА, уточненной эфемеридно-временной информации, корректирующей информации к измерениям, информации о качестве функционирования ГНСС и др.

Развитие функциональных дополнений и, в частности, **широкозонной системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ)**, осуществляющей вычисление и передачу дифференциальных поправок к НКА систем ГЛОНАСС и GPS является приоритетным направлением развития отечественной спутниковой навигации. Головным разработчиком СДКМ в нашей стране является АО «Российские космические системы».

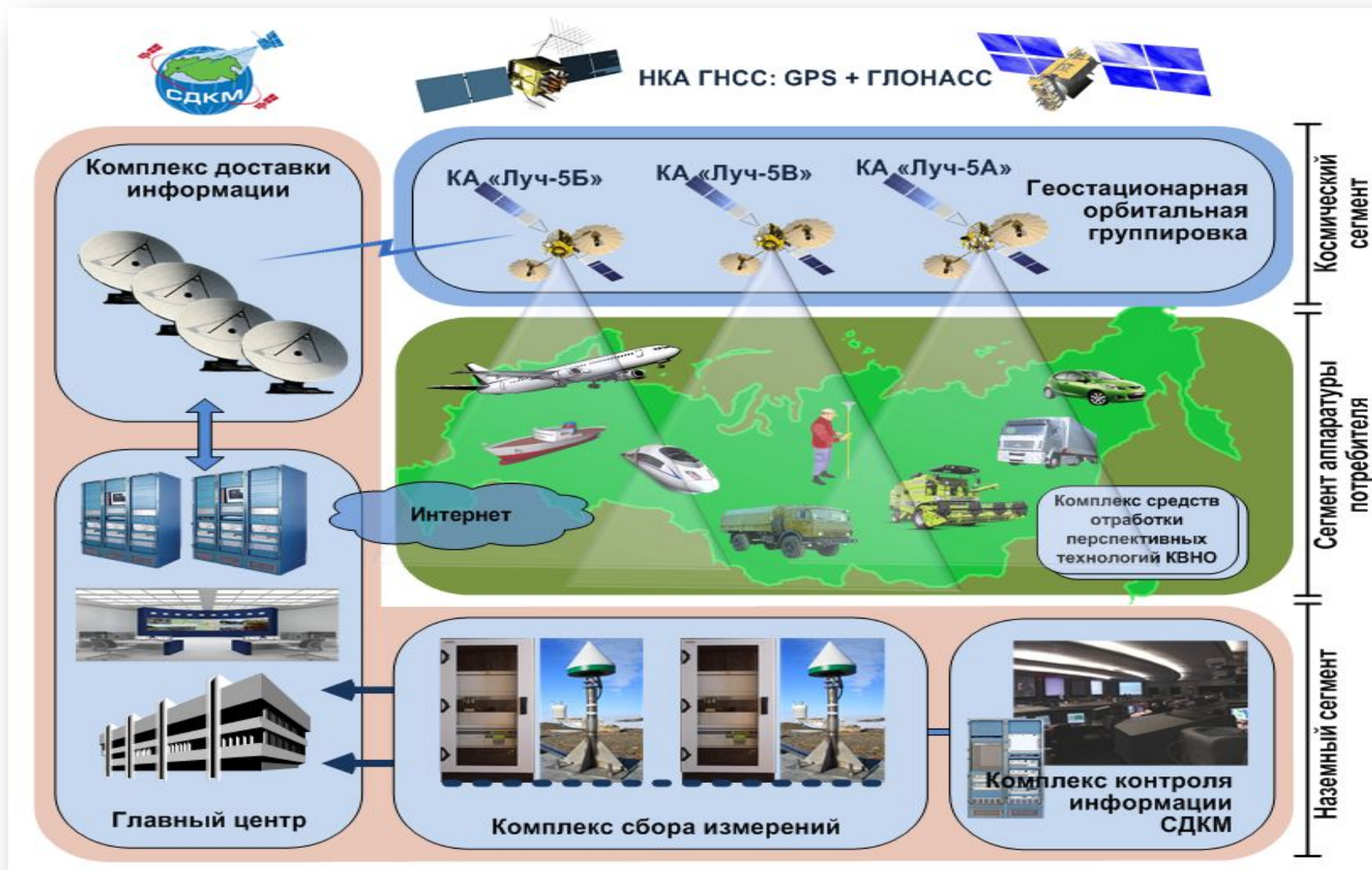
СДКМ сегменты: наземный (НС), космический (КС) и аппаратуры потребителей (САП).

В состав КС входят НКА систем ГЛОНАСС и GPS, геостационарные КА-ретрансляторы типа «Луч», которые передают на НС и САП служебную и измерительную информацию.

В состав НС входят Центр дифференциальной коррекции и мониторинга, предназначенного для обработки измерительной информации, формирования корректирующей информации, информации о целостности, а также комплексы сбора измерений (КСИ), информационного обмена между компонентами СДКМ (доставки информации, контроля информации и др.).

В состав САП входит комплекс средств отработки технологий координатно-временного обеспечения. **СДКМ позволит обеспечить потребителей (различные системы мониторинга за воздушным, наземным и морским транспортом) возможностью определять свои координаты с дециметровой и сантиметровой точностью.**

В состав КСИ СДКМ входит 19 станций, расположенных на территории России, три станции – в Антарктике (станции «Беллинсгаузен», «Новолазаревская» и «Прогресс») и две станции – в Бразилии. В перспективе на территории нашей страны планируется развернуть 46 станций СИ, за ее пределами – 10 станций СИ: на антарктических станциях «Мирный» и «Русская», на Кубе, в Бразилии,



1. СДКМ позволит обеспечить потребителей, к которым относятся различные системы мониторинга за воздушным, наземным и морским транспортом, возможностью определять координаты с дециметровой и сантиметровой точностью.

2. СДКМ будет гармонично дополнять существующие локальные дифференциальные подсистемы различной ведомственной подчиненности за счет большей зоны покрытия, распределенной сети российских и зарубежных станций, принадлежащих различным международным службам.



3. СДКМ является российским аналогом широкозонных функциональных систем SBAS (Space Based Augmentation System - Спутниковая система дифференциальной коррекции): американской WAAS, европейской EGNOS, японской MSAS и индийской GAGAN. С вводом в строй системы СДКМ будет обеспечено глобальное покрытие в северном полушарии.

Карта-схема полей покрытия российской и зарубежных систем дифференциальной коррекции и мониторинга

4. По оценкам специалистов, новые навигационные радиосигналы с кодовым разделением каналов (НКА ГЛОНАСС-K1) и полное развертывание **СДКМ** обеспечат не только повышение качества навигационных услуг системы ГЛОНАСС, но и создадут благоприятные предпосылки для построения региональной высокоточной навигационной системы, которая позволит потребителям решать целевые задачи с высокой точностью не только на территории России, но и в государствах Европы, Ближнего и Дальнего Востока.

Совокупность комплексов средств фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС

Совокупность комплексов средств фундаментального обеспечения системы ГЛОНАСС предназначена для обеспечения высокоточного решения координатно-временных задач в рамках системы ГЛОНАСС.

В своем составе она имеет:

- **комплекс средств определения и прогнозирования параметров вращения Земли, предназначенный для еженедельных высокоточных определений Всемирного времени UT, координат полюса, углов нутации и прецессии;**
- **комплекс средств формирования Национальной координирован-ной шкалы времени России UTC (SU), предназначенный для ежедневных определений Всемирного времени;**
- **комплекс средств уточнения фундаментальных астрономических и геодезических параметров;**
- **комплекс метрологического обеспечения приемной спутниковой геодезической аппаратуры, предназначенной для высокоточных измерений сверхдлинных баз.**

Подсистема потребителей (ПП) ГЛОНАСС

ПП состоит из множества комплектов навигационной аппаратуры потребителей (НАП), размещенных на наземных, морских, воздушных и космических подвижных объектах, а также приемной спутниковой геодезической аппаратуры (ПСГА) – ныне незаменимого прибора, используемого при выполнении геодезических и других высокоточных работ.

ПП осуществляет прием служебной и навигационной информации с НКА, измерение радионавигационных параметров, связывающих положение приемной аппаратуры с положением НКА, на их основе определение навигационных параметров, их обработку и вычисление координат (НАП, ПСГА), а также путевой скорости, поправки часов, направления движения объекта (НАП), азимутов направлений и расстояний между двумя точками (ПСГА).



а)



б)



в)

Фрагмент подсистемы потребителей системы ГЛОНАСС:
а) индивидуальный навигационный приемник; б) ПСГА «БРИЗ-ГП»;
в) автомобильный навигатор



ПСГА «БРИЗ-ГП»

НАП и ПСГА функционируют в так называемом пассивном режиме, предусматривающем прием радиосигналов от НКА, поэтому навигационно-геодезическими услугами может пользоваться неограниченное число потребителей и бесплатно.

По оперативности и точности НАП системы ГЛОНАСС находится на уровне лучших мировых аналогов (например, НАП американской системы GPS). Так, в настоящее время точность решения навигационной задачи составляет 2,7 м, к 2020 г. ожидается ее уменьшение до 0,6 м

Однако на практике НАП системы ГЛОНАСС используется пока только специальными российскими потребителями, НАП гражданского назначения, а также ПСГА выпускаются, как правило, работающими одновременно по сигналам систем ГЛОНАСС и GPS.

Типичным представителем ПСГА такого класса является «БРИЗ-ГП», изготовленный в Российском институте радионавигации и времени (Санкт-Петербург). «БРИЗ-ГП» (в комплекте из двух приборов) используется при выполнении различных геодезических работ, создании государственного земельного кадастра и мониторинге земель. Эта аппаратура обеспечивает получение высокоточных результатов в режимах, которые требуют накопления данных во внутренней памяти аппаратуры с последующей обработкой на персональном компьютере с использованием специального программного обеспечения.

Сетка используемых частот системы ГЛОНАСС -1

Способ разделения радиосигналов, излучаемых НКА ГЛОНАСС-М, – частотный (по международному стандарту: **FDMA – Frequency Division Multiple Access**), т.е. каждый НКА излучает сигналы на только ему свойственной частоте, при этом дальномерный код одинаков для всех НКА. Это, с одной стороны, приводит к усложнению и укрупнению приемной аппаратуры, с другой – повышает помехозащищенность всей системы, поскольку создать помехи для многочастотной системы гораздо сложнее.

Сигналы НКА системы ГЛОНАСС идентифицируются по значению номинала их несущей частоты, лежащей в отведенной полосе частот. Номинальные значения несущих частот навигационных радиосигналов НКА в частотных диапазонах L1 и L2 определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} f_{K1} &= f_{01} + K\Delta f_1 \\ f_{K2} &= f_{02} + K\Delta f_2, \end{aligned}$$

где

K – номера (литеры) несущих частот навигационных радиосигналов, излучаемых НКА в частотных диапазонах $L1$ и $L2$, соответственно;

$f_{01} = 1602$ МГц; $\Delta f_1 = 562,5$ кГц, для диапазона $L1$;

$f_{02} = 1246$ МГц; $\Delta f_2 = 437,5$ кГц, для диапазона $L2$.

Необходимо отметить, что первоначально литеры частот были в диапазоне от -7 до +13. В 1998 г. были исключены литеры K от 10 до 13. В 2006 г. остались только литеры K от -7 до +6.

Сетка несущих частот диапазонов L1 и L2, рассчитанная по вышеприведенным формулам

Номер канала (литера)	Номинал частоты в диапазоне L1	Номинал частоты в диапазоне L2
- 7	1598,0625	1242,9375
- 6	1598,6250	1243,3750
- 5	1599,1875	1243,8125
- 4	1599,7500	1244,2500
- 3	1600,3125	1244,6875
- 2	1600,8750	1245,1250
- 1	1601,4375	1245,5625
0	1602,0000	1246,0000
1	1602,5625	1246,4375
2	1603,1250	1246,8750
3	1603,6875	1247,3125
4	1604,2500	1247,7500
5	1604,8125	1248,1875
6	1605,3750	1248,6250

Сетка используемых частот системы ГЛОНАСС -2

Для НКА ГЛОНАСС-М предусмотрены две частотные полосы в диапазонах **L1 (1592,06-1605,38 МГц)** и **L2 (1242,94 -1248,62 МГц)**. В указанных диапазонах этот НКА излучает сигнал стандартной точности (СТ), доступный гражданским и зарубежным потребителям, и сигнал высокой точности (ВТ), доступный только российским специальным потребителям.

НКА ГЛОНАСС-К1 кроме перечисленных сигналов излучает новые сигналы с частотным разделением каналов в диапазоне **L3 (1190,35 - 1212,23 МГц)** и сигналы с кодовым разделением каналов (**CDMA – Code Division Multiple Access**) на частотах **1575 МГц (диапазон L1)** и **1176 МГц (диапазон L5)**.

По оценкам специалистов, кодовое разделение каналов позволит увеличить точность навигационных определений системы ГЛОНАСС, сделает ее взаимодополняемой с другими подобными системами (американской GPS, европейской Galileo и китайской BeiDou), с отечественными и зарубежными системами дифференциальной коррекции и мониторинга, а также позволит существенно снизить вес и габариты аппаратуры потребителя.

Полагают, что для перехода со «старых» на «новые» сигналы потребуется не менее 10–12 лет. Примерно такое же время состав орбитальной группировки будет смешанным и включать НКА ГЛОНАСС-М, ГЛОНАСС-К1, ГЛОНАСС-К2 (первый его запуск планируется в начале 2018 г.).