Целью данного доклада является стремление познакомить всех желающих с такой навигационной системой как ГЛОНАСС и рассказать об ее отличительных особенностях, истории возникновения, предназначении, роли сигналов системе и привести актуальные данные об ее нынешнем состоянии, для достижения этих целей будем придерживаться следующей структуры:

Что такое система ГЛОНАСС и для чего она нужна?

Структура системы ГЛОНАСС и как она работает?

Где применяется система ГЛОНАСС?

GPS и ГЛОНАСС – принципиальные отличия

Система предназначена для обслуживания военных и «гражданских» пользователей. Для работы глобальной сети используется наземное оборудование и спутники — сегодня их 24. С конечными пользователями они взаимодействуют через клиентские устройства — навигаторы, трекеры, «маяки» и так далее.

Спутники, которые используются в ГЛОНАСС:

находятся на высоте 19,4 тыс. км;

развернуты по трем орбитальным плоскостям и наклонены на 64,8 градуса — это сделано для более полного охвата полярной области, в которой находится немалая часть РФ;

передают сигнал с направленностью в 38 градусов, круговая поляризация правая.

Чтобы определить гео-координаты с достаточной степенью точности, достаточно соединения хотя бы с четырьмя спутниками. Система устанавливает долготу и широту, высоту объекта и время, в которое сняты эти параметры, сообщение с показателями отправляется на принимающие клиентские устройства. Они, сопоставляя время отправки и получения, определяют дистанцию до спутников и, благодаря этому — местонахождение объекта, на котором установлены. Так осуществляется мониторинг движущейся техники, устанавливаются координаты.

Погрешность измерений отличается на 10 и более метров, в зависимости от климатических факторов, ограничений по безопасности, качества техники для приема и других факторов. Пользовательские устройства принимают два типа сигналов — FDMA и CDMA. Они, в свою очередь, могут быть открытыми и защищенными, особо точными, передавать сообщения в разных сигнальных форматах.

Чем система отличается от GPS

ГЛОНАСС-мониторинг по принципу измерения практически аналогичен второму глобальному комплексу — GPS. Однако разница между ними есть. В первую очередь это положение группировок. Спутники у американской Navistar расположены по шести плоскостям, орбиты вращения у них круговые. Благодаря этому в каждой точке земного шара обеспечен прием минимум с 6 из 24 аппаратов, из-за чего говорят о большей точности GPS. Конкретный показатель зависит от многих факторов, поэтому для повышения качества измерений разумно использовать обе системы.

Другие отличия ГЛОНАСС:

отсутствие у спутников резонанса — нет синхронности, поэтому стабильность аппаратов выше, корректировать их не нужно в течение всего срока эксплуатации (но он ниже, чем у американской системы);

большая, по сравнению с GPS, дешевизна оборудования для поддержки работы системы, что обеспечивает финансовую выгодность для коммерческих пользователей;

лучшая защита от сбоев благодаря функционированию на других частотах и разделению сигнала — это снижает опасность его потери и ухудшения из-за естественных, архитектурных и технических препятствий;

учет потребностей российских пользователей, актуального законодательства РФ и так далее.

Благодаря совершенствованию системы ее точность приближается к GPS и может даже превысить ее. Чтобы улучшить уровень работы комплекса, стоит выбирать качественное клиентское оборудование от проверенных поставщиков — например, компании Omnicomm, крупнейшего поставщика российского рынка, чью продукцию и решения в [Свердловской области](https://omnicomm-ural.ru/buy/ekaterinbyrg/), [Кузбассе](https://omnicomm-ural.ru/buy/kuzbass/) и [Крыму](https://omnicomm-ural.ru/buy/sevastopol/) официально представляет компания «Омникомм Урал».

## Сигналы системы ГЛОНАСС

Каждый НС излучает непрерывные сигналы, поэтому на вход приемника аппаратуры потребителя одновременно поступают сигналы от всех НС, находящихся в зоне радиовидимости. В связи с этим необходима такая структура сигналов, которая позволила бы разделять их на приемной стороне. Кроме того, необходимо обеспечить измерение параметров сигналов, несущих информацию о дальностях до НС и скоростях их изменения (радиальных скоростях «НС — потребитель») с высокой точностью и передачу эфемеридной информации потребителям для решения навигационной задачи.

В системе GPS используется *кодовое разделение каналов*, когда все НС излучают сигнал на одной частоте, но каждый сигнал модулирован индивидуальным кодом, причем коды должны быть по возможности ортогональны между собой для уменьшения внутрисистемных помех, приводящих к ошибкам при разделении сигналов. Используемые в GPS коды обеспечивают относительно небольшой уровень внутрисистемных помех.

В ГЛОНАСС используется *частотное разделение каналов,* т.е. каждый НС излучает сигнал на индивидуальной частоте. При этом для уменьшения внутрисистемных помех спектр сигнала должен быть ограниченным по ширине, что на практике реализовать не представляется возможным. Поэтому уровень внутрисистемных помех в системе ГЛОНАСС выше, чем в GPS.

Дальность и скорость изменения дальности до НС в аппаратуре потребителя определяются путем измерения *задержки момента приема сигнала* относительно известного момента его излучения аппаратурой НС и *доплеровского сдвига частоты.*

Как было показано в параграфе 2.7, минимальная среднеквадрати- ческая погрешность (СКП) оценки задержки сигнала обеспечивается при увеличении его эффективной ширины спектра, что при использовании обычных импульсных сигналов эквивалентно уменьшению их длительности. Минимальная же СКП оценки доплеровского сдвига частоты обеспечивается при увеличении эффективной длительности сигнала. Как следует из этого, требования к повышению точности оценки задержки и доплеровского сдвига частоты противоречивы. Данное противоречие разрешается при использовании сигналов, обладающих большой базой



где *ТЭф —* эффективная длительность сигнала; Д/^ф — эффективная ширина спектра сигнала.

Такими свойствами обладают используемые в СРНС так называемые *шумоподобные сигналы* (ШПС), которые можно получить путем бинарной (0, *к* или *—к/*2, *+к/2)* фазовой манипуляции несущей по закону псевдослучайной последовательности. Манипулирующая псевдослучайная последовательность (ПСП) называется *навигационным кодом*, каждый элемент которого жестко привязан к шкале времени, формируемой спутниковым ЭВЧ. Поэтому, зафиксировав в аппаратуре потребителя момент приема соответствующего элемента кода (или кодовой последовательности в целом), можно определить дальность до НС.

Используемые в СРНС фазоманипулированные сигналы обладают высокой помехоустойчивостью и имеют автокорреляционные функции с узкими пиками по временной задержке и доплеровской частоте, за счет чего достигается высокая точность оценки указанных параметров сигнала.

Каждый НС излучает фазоманипулированные по закону ПСП навигационные сигналы двух типов:

• *сигнал кода СТ* (стандартной точности), достаточно легко обнаруживаемый и доступный любым пользователям;

• *сигнал кода ВТ* (высокой точности), трудно обнаруживаемый и доступный ограниченному кругу пользователей, прежде всего военным потребителям.

Каждый НС излучает навигационные сигналы в двух частотных диапазонах L1 ~ 1600 МГц и L2 ~ 1240 МГц. При этом в диапазоне L1 излучаются сигналы кодов СТ и ВТ, а в диапазоне L2 — только кода ВТ.

Номинальные значения частот излучаемых сигналов



где *k* = 1, ..., 24 — номер литера рабочих частот; Д/ = 0,5625 МГц и Д/2 = 0,4375 МГц — разнос частот между соседними каналами, выбранный с учетом максимально возможных доплеровских сдвигов частот принимаемых сигналов.

С целью сокращения количества занимаемых частотных каналов *антиподные* (сдвинутые по истинной аномалии на 180°) НС одной орбиты излучают сигналы на одинаковых частотах.

Рабочие частоты *fkl* и *fk2* когерентны и формируются от одного ЭВЧ. При этом их отношение *fk]/fk2* = 9/7.

Прием сигнала на двух частотах позволяет устранить неизвестную дополнительную ионосферную задержку сигнала, которая зависит от частоты. Поэтому аппаратура, способная принимать сигналы на двух частотах, обладает более высокой точностью определения местоположения.

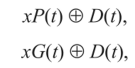
В качестве манипулирующих в системе ГЛОНАСС используются *М-последовательности —* рекуррентные линейные циклические кодовые последовательности, которые формируются в результате циклических перестановок некоторого кодового слова (образующего полинома) с помощью сдвигающего регистра. Число разрядов *п* сдвигающего регистра определяет период последовательности *L* = 2" — 1.

Код СТ содержит 511 символов в периоде (формируется генератором кода с тактовой частотой 0,511 МГц), длительность символа кода тк = 1,957 мкс. Период повторения кода СТ *Тп* к = 1 мс, что позволяет аппаратуре потребителя достаточно легко его обнаружить. Образующий полином кода СТ имеет вид *G(X)* = 1 *+ X5 + X9.*

Точность измерения дальности будет тем выше, чем меньше длительность тк элемента кода. Период повторения кода *Ти* к определяет интервал однозначного измерения дальности, который в этом случае

Сигнал специального кода ВТ содержит 511 000 символов в периоде (формируется генератором кода с тактовой частотой 5,11 МГц) и имеет существенно больший период повторения при длительности элемента кода тк = 0,2 мкс. Этим обеспечивается невозможность его обнаружения обычной аппаратурой пользователей.

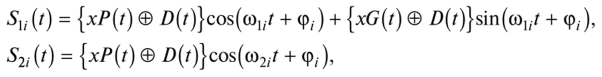
*Служебная информация,* т.е. эфемериды, поправки к шкале времени НС, поправки на распространение радиоволн, альманах системы и другая информация, необходимая для точного и надежного определения местоположения и скорости ВС, передается одновременно с навигационным сигналом путем его дополнительной низкочастотной фазовой манипуляции. Для этого код служебной информации накладывается на дальномерные коды путем сложения по модулю 2. Результирующий манипулирующий сигнал имеет вид



где *xP{t)* — код ВТ; *xG(t)* — код СТ; *D(t)* — код служебной информации.

Излучаемый НС радиосигнал (рис. 12.5, *д)* получается путем фазовой манипуляции несущего колебания двоичной последовательностью, образованной суммированием по модулю 2 дально- мерного кода (СТ (рис. 12.5, *г)* или ВТ), цифровой информации навигационного сообщения (рис. 12.5, *а)* и вспомогательного сигнала типа «меандр» (рис. 12.5, *б).* При этом элементы дальномер- ного кода и навигационного сообщения синхронизируются импульсами синхронизации, вырабатываемыми ЭВЧ НС с периодом 1 мс (рис. 12.5, *в).*

В упрощенном виде излучаемый /-м НС сигнал можно представить выражениями



где со1У, <о2/ — несущая частота сигнала соответственно в диапазоне L1 и L2; Ф, — начальная фаза ВЧ-заполнения, привязанная к шкале времени, формируемой ЭВЧ /-го НС.

Разделение излучаемых на одной частоте/J сигналов СТ и ВТ производится за счет того, что несущие на одной и той же частоте сдвинуты друг относительно друга по фазе на 90°. Кроме того, сигнал СТ образуется фазовой манипуляцией несущей на 0, я, а сигнал ВТ — манипуляций на +л/2.

В планах развития системы ГЛОНАСС предполагается излучение сигнала СТ на частотах диапазона L2, что позволит улучшить точность определения навигационных параметров широкому кругу потребителей.

В системе ГЛОНАСС служебная информация передается пятью кадрами в виде потока цифровой информации (оперативной и неоперативной) со скоростью 50 бит/с. Кадр служебной информации содержит 1500 бит информации и занимает 30 с.

В состав *оперативной информации* входят эфемериды, поправки к шкале времени, создаваемой ЭВЧ, и другая информация, относящаяся к данному НС. Оперативная информация передается в полном объеме в каждом кадре.

*Неоперативная информация* включает в свой состав альманах системы, поправку к шкале времени системы ГЛОНАСС относительно универсальной (всемирной) шкалы времени (UTC) и другую информацию о состоянии системы и параметрах орбитальной группировки. Часть неоперативной информации передается в каждом кадре, но ее полный объем — пятью кадрами, образующими суперкадр длительностью 150 с. Таким образом, периодичность обновления альманаха в аппаратуре потребителей в системе ГЛОНАСС составляет 2,5 мин, а периодичность обновления эфемерид — 30 с.   
   
*Альманах —* это набор сведений о текущем состоянии навигационной системы в целом, включая загубленные эфемериды, применяемые для поиска видимых спутников и выбора оптимального созвездия, содержащих сведения. Альманах содержит параметры орбит всех спутников. Каждый спутник передает альманах для всех спутников. Данные альманаха не отличаются большой точностью и действительны несколько месяцев.

Данные *эфимериса* содержат очень точные корректировки параметров орбит и часов для каждого спутника, что требуется для точного определения координат. Каждый навигационный спутник передает данные только своего собственного эфимериса.

*Навигационные сообщения* — это передаваемые спутником пакетные данные, содержащие эфемериду с метками времени и альманахом.

Сигнал, передаваемый навигационными спутниками, условно можно разделить на два основных компонента: навигационный сигнал (псевдослучайный дальномерный код) и навигационное сообщение (содержащее большое количество сведений о параметрах навигационных спутников). В свою очередь, навигационное сообщение содержит эфемеридные данные и альманах (рис. 3.24). Сразу подчеркнем, что дальномерный код также передается в составе навигационного сообщения, что станет понятным из дальнейшего изложения.

Можно сказать, что сигнал навигационных спутников содержит три основных составляющих:

1) псевдослучайный (дальномерный) код;

2) альманах;

3) эфемеридные данные.

Информацию о местоположении спутников навигационные приемники получают именно из данных, содержащихся в альманахах и эфемеридах спутников. Поясним значение термина «эфемерида» (др.-греч. ?(ргщ?р1? — на день, ежедневный). В астрономии это таблица небесных координат Солнца, Луны, планет и других астрономических объектов, вычисленных через равные промежутки времени, например, на полночь каждых суток.

Также эфемеридами называются координаты искусственных спутников Земли, используемых для навигации в системах NAVSTAR (GPS), ГЛОНАСС, Galileo и др. Эфемериды — это уточненная информация об орбите данного конкретного спутника, передающего сигнал, поскольку реальная орбита спутника может отличаться от расчетной. Именно точные данные о текущем положении спутников позволяют навигационному приемнику вычислять точное местоположение спутника и на этой основе рассчитывать собственное местоположение. Данные эфемерид навигационной группировки ГЛОНАСС публикуются на сайте Российского космического агентства (Роскосмос). Состав эфемерид спутников ГЛОНАСС включает, в частности, следующие параметры орбиты спутника [3, 34]:

• NS — номер спутника;

• дата — базовая дата (UTC+3 ч), ЧЧ.ММ.ГГ;

• *ТО. —* время прохождения восходящего узла (количество секунд от 00 ч 00 мин 00 с базовой даты), с;

• *Та6 —* период обращения, с;

• *е —* эксцентриситет;

• / — наклонение орбиты, °;

• *ЬО —* географическая долгота восходящего узла ГЛОНАСС, °;

• со — аргумент перигея, °;

• 5/, — поправка к бортовой шкале времени, с;

• *п,* — номер литерной частоты;

• *АТ —* скорость изменения драконического периода. Драко-ническии период — интервал времени между двумя последовательными прохождениями небесного тела через один и тот же (восходящий или нисходящий) узел орбиты.

Эфемеридные данные являются составной частью альманаха. Получив от альманаха основные примерные параметры орбит всех спутников, навигатор получает от каждого из спутников его собственный эфимерис. По этим точным данным корректируются

параметры орбит, т.е. данные альманаха. Эфимерисы — это своего рода «надстройка» над альманахом, которая основные параметры превращает в параметры конкретные. Данные эфимериса содержат очень точные корректировки параметров орбит и часов для каждого спутника, что требуется для точного определения координат.

В отличие от альманаха, каждый спутник передает данные только своего собственного эфимериса, и с их помощью навигационный приемник с высокой точностью может определить местоположение спутников.

Эфимерисы, несущие более точные данные, устаревают достаточно быстро. Эти данные действительны только 30 мин. Спутники передают свой эфимерис каждые 30 с. Обновление эфемерид осуществляется наземными станциями. Если приемник был отключен более 30 мин, а потом включен, то он начинает искать спутники, основываясь на известном ему альманахе. По нему он выбирает спутники для инициации поиска.

Когда навигационный приемник фиксирует спутник, идет процесс сбора данных эфимериса. Когда эфимерис каждого спутника принят, данные, принятые от спутника, считаются подходящими для навигации.

Если питание приемника отключить, а потом снова включить в течение 30 мин, то он «поймает» спутники очень быстро, так как не нужно будет снова собирать данные эфимериса. Это «горячий» старт.

Если после отключения прошло более 30 мин, то будет произведен «теплый» старт, и приемник снова начнет собирать данные эфимериса.

Если приемник был перевезен (в выключенном состоянии) на несколько сотен километров или внутренние часы стали показывать неточное время, то данные имеющегося альманаха являются неверными. В таком случае навигатору требуется выполнить загрузку нового альманаха и эфимериса. Это уже будет «холодный» старт.

Обеспечение спутников эфемеридами производит наземный сегмент системы, т.е. на Земле определяются параметры движения спутников и прогнозируются значения этих параметров на заранее определенный промежуток времени. Измерение и прогноз параметров движения НКА производятся в баллистическом центре системы по результатам траекторных измерений дальности до спутника и его радиальной скорости. Параметры и их прогноз закладываются в навигационное сообщение, передаваемое спутником наряду с передачей навигационного сигнала.

В GPS альманах в комплексе с другими полями данных передается каждые 12,5 мин, в ГЛОНАСС — каждые 2,5 мин. В табл. 3.3 для сравнения приведены два временных параметра альманаха и эфемерисов GPS. Очевидно, что период обновления данных и сроки их актуальности для альманаха и эфимериса существенно различны.