



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кафедра Информационных технологий и систем безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(Дипломная работа)

На тему «Спутниковая связь и навигация для обеспечения
судоходства Северного морского пути»

Исполнитель Грысь Алексей Александрович

О (фамилия, имя, отчество)

(подпись)

Руководитель старший преподаватель

(ученая степень, ученое звание)

Сикарев Игорь Александрович

(фамилия, имя, отчество)

(подпись)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой Бурлов В.Г.

(фамилия, имя, отчество)

(подпись)

«» 20 г.

Санкт–Петербург

2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ.	
ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) в навигации судоходства Северного морского пути.	
1.1. Основные сведения ГЛОНАСС.....	7
1.2. Общая характеристика ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.....	8
1.3. Наземный комплекс управления НКА ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.	15
1.4. Навигационные сигналы НСК ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.	16
1.5. Радионавигационное поле ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.	17
1.6. Спутниковая система «Гонец» в навигации судоходства Северного морского пути. Основные сведения системы «Гонец».....	18
1.7. Применение Система «Гонец» в навигации Северного морского пути.....	20
1.8. Цифровые системы «Гонец». Цифровые сервисы решения в сфере IoT / M2M Система «Гонец» Северного морского пути.....	22
1.9. Преимущества спутниковой системы «Гонец» в навигации Северного морского пути.....	24
ГЛАВА 2. Системы функциональных дополнений ГНСС в навигации Северного морского пути.	
2.1. Принцип дифференциальной коррекции ГНСС в навигации Северного морского пути.	25

2.2. Типовая структура СФД в навигации Северного морского пути.	29
2.3. Локальные дифференциальные подсистемы.	36
2.4. Основные принципы работы системы ГЛОНАСС Северного морского пути.....	37
2.5. Перспективы развития ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.....	39
2.6. Принцип построения и работы Северных морских путей ЛДПС.....	41
Сокращения.	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	56

Введение.

Спутниковая навигационная система (GNSS) – комплексная электронно-техническая система, состоящая из совокупности наземного и космического оборудования, предназначенная для определения местоположения (географических координат и высоты), а также параметров движения (скорости и направления движения) для наземных, водных и воздушных объектов. Координаты пунктов (объектов) нужны не только геодезистам, но и морякам, авиаторам, военным, участникам различных экспедиций и многим другим потребителям.

Если раньше для создания геодезической основы приходилось строить дорогостоящие сети различных конфигураций, закрепляемые на местности специальными центрами с наружными знаками (пирамидами, сигналами) для обеспечения взаимной видимости между пунктами, то появление спутниковых систем сделало эти работы ненужными.

По сравнению с традиционными геодезическими методами спутниковые методы измерений обладают следующими преимуществами:

- исключение необходимости взаимной видимости между определяемыми пунктами;
- расстояния между определяемыми пунктами могут составлять десятки километров;
- возможны наблюдения в любую погоду, как в дневное, так и в ночное время;
- измерения и обработка результатов почти полностью автоматизированы;
- возможно получение координат геодезических пунктов в реальном масштабе времени и др.

С помощью только одного спутникового приемника возможно определить координаты объекта с метровой точностью, что достаточно

не только для навигационных, но и в ряде случаев для земельно-кадастровых, геологических, мелиоративных и других работ. Применяя два приемника, можно получить сантиметровую и даже миллиметровую точность взаимного положения пунктов, что обеспечивает решение практически всех геодезических задач. GNSS базируется на электронных методах геодезических измерений, в первую очередь на электронной дальнометрии, которые широко применяют в наземной геодезии. В случае спутниковых измерений эти методы претерпели существенные изменения, обусловленные спецификой прохождения сигналов на космических трассах.

Координаты, получаемые благодаря спутниковым системам позиционирования, используются в следующих отраслях народного хозяйства:

Геодезия. С помощью систем навигации определяются точные координаты и границы земельных участков.

Картография. Системы навигации используются в гражданской и военной картографии.

Навигация. С применением систем навигации осуществляется как морская, так и наземная навигация. Например, с появлением портативных спутниковых приемников возникла идея создания принципиально новой автомобильной системы безопасности, которая способна точно отслеживать координаты автомобиля и передавать их на пост контроля, используя обычную сотовую связь. Появилась возможность принципиально перестроить систему управления движением поездов. Новая система способна отслеживать и оптимизировать движение поездов, и автоматически включать режим экстренного торможения при опасном сближении составов.

Спутниковый мониторинг транспорта. С помощью GNSS ведется мониторинг за положением, скоростью автомобилей, контроль за их движением.

Сотовая связь. Первые мобильные телефоны с GNSS появились в 90-х г. XX в. В некоторых странах, это использовалось для оперативного определения местонахождения человека, звонящего 911. В России начата реализация аналогичного проекта – Эра ГЛОНАСС.

Тектоника. С помощью GNSS ведется наблюдение за движением и колебаниями плит.

Целью дипломной работы является анализ принципов работы спутниковых систем ГНСС ГЛОНАСС и «Гонец» для обеспечения судоходства Северного морского пути.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Проанализировать принципы работы спутниковых систем ГНСС ГЛОНАСС и «Гонец» для обеспечения безопасности судоходства Северного морского пути.
- Определить преимущества и недостатки спутниковых систем ГНСС ГЛОНАСС и «Гонец».
- Сравнить спутниковые системы ГНСС ГЛОНАСС и «Гонец» Северного морского пути.

1. Глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) в навигации судоходства Северного морского пути.

1.1. Основные сведения ГЛОНАСС.

Системы ГНСС предоставляют большинству потребителей возможность в реальном времени определять координаты и время с точностями, намного выше других современных систем и средств радионавигации. Доступность и простота получения координатно-временной информации превратили системы ГНСС в основу навигационного обеспечения широкого круга потребителей. Надежность и доступность координирования открыла широкие возможности, а равно и новые потребности в навигационном обеспечении различных видов деятельности человека.

ГЛОНАСС, разработанная по заказу Министерства обороны СССР, предназначена для определения местоположения, скорости движения, а также точного времени морских, воздушных, сухопутных и космических потребителей.

Разработка системы официально началась в 1976 г., летные испытания ГЛОНАСС начались 12 октября 1982 г. запуском спутника «Космос-1413». Основным разработчиком и создателем системы в целом и ее космического сегмента являлось НПО прикладной механики (г. Красноярск), а навигационных космических аппаратов - ПО «Полет» (г. Омск). В сентябре 1993 г. система была официально принята в эксплуатацию в неполном составе.

В 1995 г. было завершено развертывание космической группировки. Главным требованием при проектировании было обеспечение потребителю в любом месте приземного пространства в любой момент времени возможности определения трех пространственных координат, вектора скорости и точного времени[1].

Области использования ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути следующие:

- организация воздушного и морского движения, повышение безопасности полетов и мореплавания,

- геодезия и картография, составление земельных и лесных кадастров,

строительство дорог, прокладка коммуникаций и трубопроводов, контроль сейсмически опасных районов, геология и разведка полезных ископаемых, разработка нефтяных и газовых месторождений как на материке, так и на участках прибрежного шельфа и в морских районах, определение параметров вращения Земли и т. д.;

- мониторинг наземного транспорта, организация и управление движением грузов, междугородным железнодорожным и автотранспортом, создание «интеллектуальных» транспортных средств;

- синхронизация шкал времени удаленных друг от друга объектов;

- экологический мониторинг, организация поисково-спасательных работ.

В настоящее время развитием ГЛОНАСС занимается Государственная корпорация «Роскосмос». В интересах мирового сообщества Россия предоставляет систему в стандартном режиме для гражданского, коммерческого и научного использования.

1.2. Общая характеристика ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.

ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути основана на реализации принципа беззапросных дальномерных измерений между Навигационными космическими аппаратами (спутниками) и потребителем. Навигационная аппаратура потребителя (НАП) принимает навигационные радиосигналы не менее чем от четырех НКА и выполняет беззапросные измерения

псевдодальности и радиальной псевдоскорости относительно каждого НКА ГЛОНАСС, а также прием и обработку навигационных сообщений, содержащихся в составе навигационных радиосигналов.

В навигационных сообщениях Северного морского пути описывается положение НКА в пространстве и значение времени. В результате обработки полученных измерений и данных определяются три координаты местоположения потребителя и составляющие вектора скорости его движения, а также осуществляется синхронизация шкалы времени НАП

В системе ГЛОНАСС Северного морского пути выделяют три основные функциональные части (рис. 1.1):

- подсистема космических аппаратов северного морского пути, в которую входит орбитальная группировка навигационных космических аппаратов;
- подсистема контроля и управления северного морского пути, включающая наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировкой НКА;
- подсистема пользователей системы.

Подсистема космических аппаратов системы ГЛОНАСС Северного морского пути при полном развертывании может включать в себя до 30 штатных НКА, движущихся по околокруговым орбитам в трех плоскостях. Подсистема контроля и управления состоит из центра управления системой ГЛОНАСС и сети станций измерения, управления и контроля, рассредоточенных по территории России. В их задачи входит контроль правильности функционирования НКА, непрерывное уточнение параметров орбит и бортовых часов НКА, выдача на НКА программных и разовых команд управления, навигационной информации или исходных данных для ее формирования.

Пользователи системы с помощью НАП осуществляют прием навигационных радиосигналов, измерение их параметров, определение собственного местоположения, скорости и времени по шкале системы путем обработки измеренных параметров. Подсистема космических аппаратов северного морского пути ГЛОНАСС состоит из 24 спутников, расположенных в трех орбитальных плоскостях (рис. 1.2). Плоскости разнесены по долготе на 120° и сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на 15° . Спутники расположены на около круговых орбитах с номинальной высотой 19 100 км, наклонением $64,8^\circ$ и периодом обращения 11 ч 15 мин 44 с.

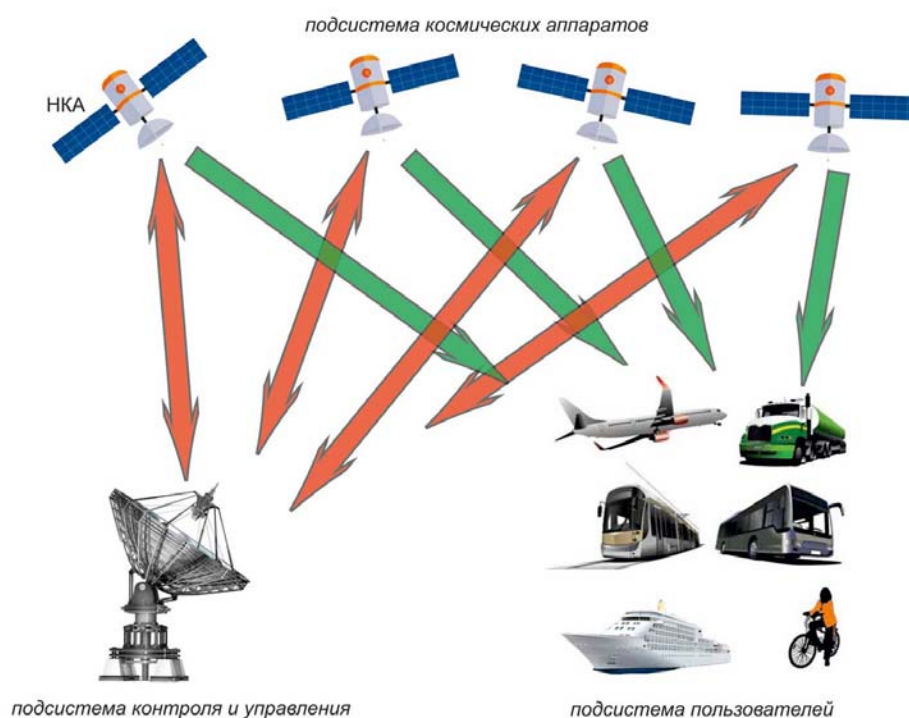


Рисунок 1.1. – Подсистема космических аппаратов.

Такая конфигурация орбитальной группировки позволяет обеспечить постоянное присутствие не менее 5 спутников с приемлемой геометрией группировки в зоне видимости потребителя, находящегося в любой точке Земли и околоземного пространства с высотами до 2000 км. Вывод спутников ГНСС ГЛОНАСС на орбиту осуществляется Космическими

войсками России с космодрома Байконур. Ракета-носитель тяжелого класса «Протон» может запускать до трех НБК одновременно. Основой НБК является герметичный цилиндрический контейнер диаметром 1,35 м, в котором размещены сервисные системы и специальное оборудование. Все подсистемы питаются от солнечных батарей, ширина которых в разложенном состоянии составляет 7,23 м. Общий вес около 1415 кг, конструкция около 237 кг, длина спутника с выдвинутым (открытым) стержнем магнитометра около 7,84 м. НКА имеет бортовой навигационный передатчик, таймер (часы), комплекс управления, системы ориентации и стабилизации в пространстве, электроснабжения, терморегулирования, средства наполнения и обеспечения параметров тепловой среды контейнера.

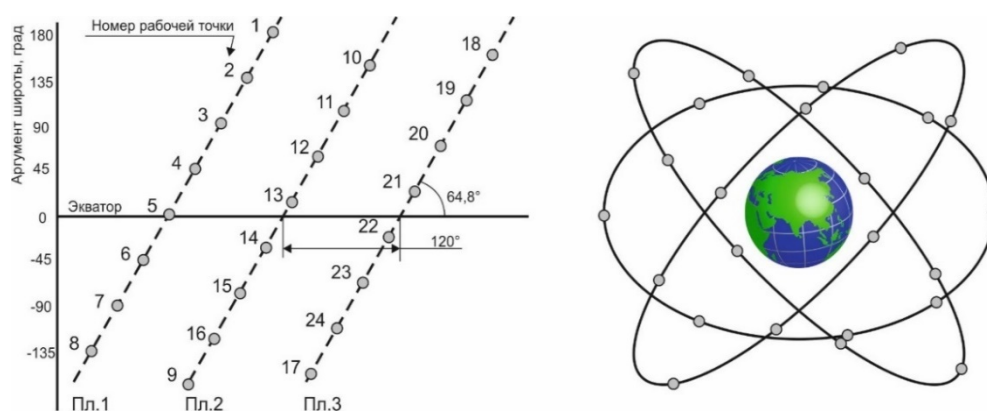


Рисунок 2.1 Расположение космических аппаратов.

Аппаратура НКА используется для выполнения следующих основных функций: излучения высокостабильных навигационных сигналов стандартной и высокой точности в дециметровом диапазоне волн без преднамеренного ухудшения характеристик; приема, хранения, передачи и передачи информации о состоянии орбиты спутника или определения поправок к бортовой шкале времени; приема, запоминания и отработки программ управления режимами функционирования спутников на Земле; формирования телеметрических данных о состоянии бортовой аппаратуры

и передачи их в наземный комплекс управления. анализа состояния бортовой аппаратуры и выработки управляющих команд.

В системе ГЛОНАСС Северного морского пути каждый штатный НКА в орбитальной группировке постоянно излучает шумоподобные непрерывные навигационные радиосигналы в двух диапазонах частот: около 1600 МГц ($L1$) и примерно 1250 МГц ($L2$). Это необходимо, для того чтобы исключить ионосферные погрешности навигационных определений.

Каждый НКА ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути имеет цезиевый стандарт частоты с относительным отклонением среднесуточных значений частоты $(2-4) \cdot 10^{-13}$, предназначенным для формирования высокостабильной бортовой шкалы времени и синхронизации всех процессов в бортовой аппаратуре. Бортовой компьютер обрабатывает поступающую из наземного комплекса управления навигационную информацию и преобразовывает ее в формат навигационного сообщения для последующего излучения.

Приведение НКА ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути в заданную орбитальную позицию проводится в несколько этапов. После завершения всей программы приведения НКА в заданное положение с требуемой точностью производятся окончательное уточнение параметров орбиты, высокоточная синхронизация бортовых шкал времени, расчет временных поправок и закладка их на борт. После этого НКА может быть использован по своему целевому назначению. Точность приведения НКА в заданную рабочую точку орбиты составляет: по периоду обращения – 0.5 с (период движения НКА ГЛОНАСС по орбите 11 ч 15 мин 44 с \pm 5 с); по аргументу широты 1° ; по эксцентриситету – $\pm 0,01$; по наклонению орбиты – $\pm 0.3^\circ$.

На рисунке 1.3 приведены сигналы, излучаемые различными типами серийных НКА ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути[3].

В 2023–2025 гг. планируется запустить шесть дополнительных спутников серии «ГЛОНАСС-В» в трёх плоскостях по высокоэллиптической орбите «Тундра», что позволит обеспечить повышенную доступность и увеличенную на 25 % точность системы на территории России и Восточном полушарии. Орбиты формируют две наземные трассы с наклоном 64.8° , эксцентриситетом 0.072, периодом обращения 23.9 часа, географической долготой восходящего угла 60° и 120° . Спутники «ГЛОНАСС-В» создаются на платформе «ГЛОНАСС-К» и будут передавать только новые сигналы с кодовым разделением

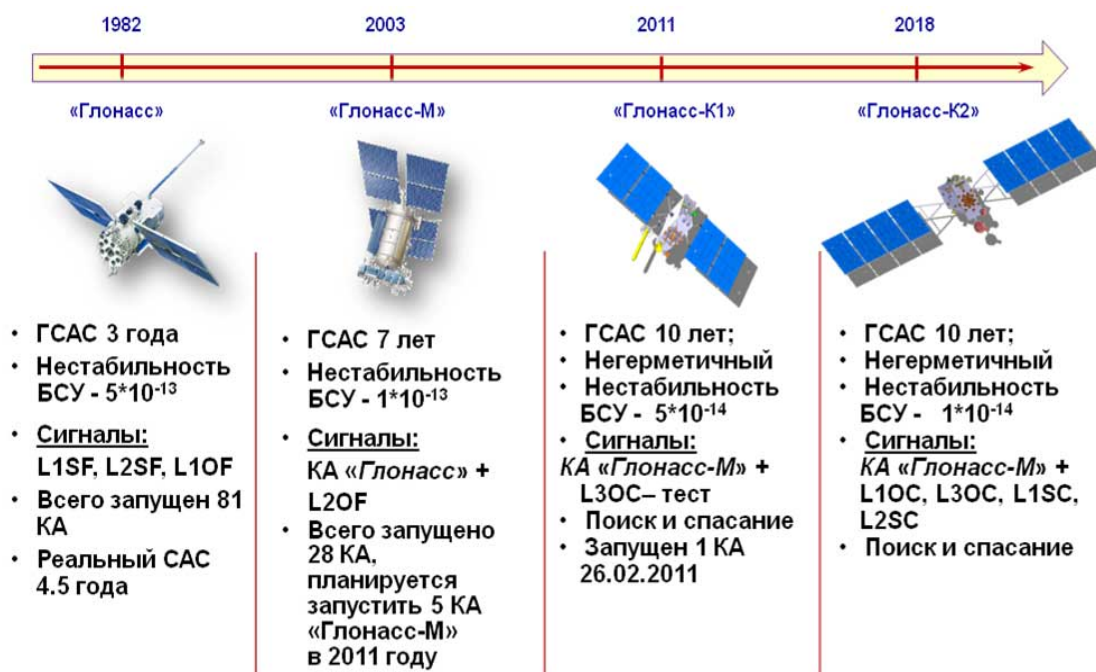


Рисунок 1.3 - Серийные НКА ГЛОНАСС Северного морского пути

Сигналы, излучаемые НКА ГЛОНАСС Северного морского пути (таблица 1.1):

- $L1OF$ ($L1 CT$), $L2OF$ ($L2 CT$) – открытые сигналы с частотным разделением в диапазонах $L1$ и $L2$ (идентичные по структуре);
- $L1SF$ ($L1 BT$), $L2SF$ ($L2 BT$) – сигналы санкционированного доступа с частотным разделением в диапазонах $L1$ и $L2$ (идентичные по структуре);

- *L3OC* - открытые сигналы с кодовым разделением в диапазоне *L3*;
- *L1OC*, *L2OC* - открытые сигналы с кодовым разделением в диапазонах *L1* и *L2*;
- *L1SC*, *L2SC* - сигналы санкционированного доступа с кодовым разделением в диапазонах *L1* и *L2*.

Необходимо отметить, что сигналы *L1OF*, *L1SF*, *L2OF*, *L2SF* – применяются в НКА «ГЛОНАСС-М», «ГЛОНАСС-К» и «ГЛОНАСС-К2» при частотном разделении каналов. Сигнал *L3OC* излучается НКА «ГЛОНАСС-К» и «ГЛОНАСС-К2» при кодовом разделении каналов. Кроме того, НКА «ГЛОНАСС-К2» излучает следующие сигналы: *L1OC*, *L1SC*, *L2SC*.

Таблица 1.1

Типы космических аппаратов системы ГЛОНАСС Северного морского пути и их характеристики.

Характеристики	КА «ГЛОНАСС-М»	КА «ГЛОНАСС-К»	КА «ГЛОНАСС-К2»
Состояние	В эксплуатации	В разработке на основе проведенных ЛИ	В разработке
САС, лет	7	10	10
Типы сигналов	в основном FDMA (CDMA на КА 755-761)	FDMA и CDMA	FDMA и CDMA
Сигналы с открытым доступом (для сигналов FDMA приведено значение центральной частоты)	<i>L1OF</i> (1602 МГц) <i>L2OF</i> (1246 МГц) начиная с №755: <i>L3OC</i> (1202 МГц)	<i>L1OF</i> (1602 МГц) <i>L2OF</i> (1246 МГц) <i>L3OC</i> (1202 МГц) начиная с №17Л: <i>L2OC</i> (1248 МГц)	<i>L1OF</i> (1602 МГц) <i>L2OF</i> (1246 МГц) <i>L1OC</i> (1600 МГц) <i>L2OC</i> (1248 МГц) <i>L3OC</i> (1202 МГц)
Сигналы с	<i>L1SF</i> (1592 МГц)	<i>L1SF</i> (1592 МГц)	<i>L1SF</i> (1592 МГц)

санкционированным доступом	<i>L2SF</i> (1237 МГц)	<i>L2SF</i> (1237 МГц) начиная с №17Л: <i>L2SC</i> (1248 МГц)	<i>L2SF</i> (1237 МГц) <i>L1SC</i> (1600 МГц) <i>L2SC</i> (1248 МГц)
Масса, кг	1415	935	1600

Сейчас основу орбитальной группировки в трёх орбитальных плоскостях составляют космические аппараты «ГЛОНАСС-М». Спутники нового поколения «ГЛОНАСС-К» представлены всего несколькими аппаратами. Первый такой спутник был запущен 26 октября 2011 года. Актуальную информацию о системе предоставляет Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения (ИАЦ КВНО) АО «ЦНИИМАШ».

1.3. Наземный комплекс управления НКА ГНСС

ГЛОНАСС Северного морского пути.

Наземный комплекс управления северного морского пути выполняет следующие задачи:

- эфемероидное и частотно-временное обеспечение;
- контроль радионавигационного поля;
- радиотелеметрический контроль НКА ГНСС ГЛОНАСС;
- управление функционированием НКА ГНСС ГЛОНАСС.

Он состоит из таких элементов: центр управления системой (ЦУС); центральный синхронизатор (ЦС); командные станции слежения (КСС); контрольные станции (КС); система контроля фаз (СКФ); квантово-оптические станции (КОС); аппаратура контроля поля (АКП). [3]

Наземный комплекс управления Северного морского пути выполняет следующие функции:

- проведение тракторных измерений для определения, прогнозирования и непрерывного уточнения параметров орбит всех спутников системы;
- формирование массива навигационных сообщений;
- определение расхождения бортовых шкал времени всех НКА ГНСС ГЛОНАСС со шкалой времени системы;
- синхронизация бортовых шкал времени НКА ГНСС ГЛОНАСС с временной шкалой ЦС и службой единого времени;
- передача массива служебной информации на каждый НКА ГНСС ГЛОНАСС;
- управление полетом спутников;
- контроль работоспособности бортовых систем НКА ГНСС ГЛОНАСС и их диагностика;
- контроль информации в навигационных сообщениях НКА ГНСС ГЛОНАСС;
- контроль характеристик навигационного поля;
- определение сдвига фазы дальномерного навигационного сигнала НКА ГНСС ГЛОНАСС по отношению к фазе сигнала ЦС;
- автоматизированная обработка и передача данных между элементами наземного комплекса управления.

1.4. Навигационные сигналы НСК ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.

НСК ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути излучают навигационные сигналы в L-диапазоне частот. Центральная частота сигнала L1 - 1602 МГц, L2 - 1246 МГц. НАП, реализуя прием навигационных измерений в двух и более диапазонах частот, позволяет значительно снизить погрешности ионосферных измерений. Сигнал высокой точности модулируется специальным кодом и предназначен для

использования в интересах Минобороны РФ. Сигналы бывают двух типов: сигнал стандартной точности (ST), доступный для всех пользователей, и сигнал высокой точности (HT), доступный только для специальных пользователей. При частотном разносе для 24 стандартных спутников ГНСС ГЛОНАСС было сочтено достаточным ограничиться 12 несущими частотами в каждом диапазоне. Доплеровский сдвиг может иметь максимальные значения +5 кГц для приземных объектов и ± 40 кГц для низкоорбитальной бытовой техники. Значительно большие трудности в приеме частотно-разнесенных сигналов будет испытывать космический потребитель на орбитах с высотами выше высот НКА ГНСС ГЛОНАСС. Сигнал с достаточной надежностью может быть выделен в навигационной аппаратуре за счет пространственной и доплеровской селекции. Разделение частот может быть достигнуто за счет использования узкополосных приемных антенн, которые ищут несущую частоту каждого принятого навигационного радиосигнала в узкой полосе (около 1 кГц) вокруг прогнозируемого значения.

1.5. Радионавигационное поле ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.

Спутниковый радиолокационный комплекс ГЛОНАСС штатные НКА Северного морского пути постоянно излучают сигналы, которые создают радионавигационное поле в окружающем пространстве. А теперь рассмотрим некоторые характеристики этого поля.

В сторону Земли передают навигационные радиосигналы, которые излучаются с помощью передающих антенн, установленных на НКА ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути, рабочая часть диаграмм направленности которых имеет ширину 2Φ и составляет 38. Подобный

диаграмма направленности позволяет пользователям принимать радиосигналы практически в любой точке земной поверхности.

На высоте $h > h_0$ при полной орбитальной группировке (24 штатных НКА) радионавигационное поле может считаться непрерывным в пространстве. На данный момент потребители в любой точке этого пространства могут принимать радионавигационные сигналы не менее чем от четырех НКА. К таким организациям относятся НКА. Это созвездие относится к категории «хороших» и имеет отношение к геометрическому фактору.

Радионавигационное поле на высотах $h > h_0$, становится дискретным в пространстве. На высотах $h_0 < h < H$ космические объекты освещены радиолучами от необходимого для оперативной навигации созвездия (не менее четырех НКА, включая НК ниже местного горизонта) не везде. Только в определенных областях пространства. На высотах $h > H$ (например, на геостационарной орбите) космические объекты будут освещены радиолучом от одного или двух НКА при полной орбитальной группировке. В этом случае будет существовать «дискретное» навигационное поле, поскольку на отдельных участках орбиты есть мертвые сектора.

Основной энергетической характеристикой для приземного потребителя являются мощности P_0 навигационного радиосигнала от околоразенитного и горизонтального НКА на выходе стандартной приемной антенны (без учета отражений от поверхности Земли)[4].

Расчетами показано, что мощность навигационного сигнала наземного потребителя с помощью изотропной антенны одинакова для

околозенитного и пригоризонтального НКА. Она составляет не менее 157 дБВт. (в соответствии с данными).

Для частот поддиапазонов L1 и L1 мощность радиосигнала, принимаемого потребителем от НКА ГЛОНАСС Северного морского пути на выходе приемной линейно-поляризованной антенны с коэффициентом усиления 3 дБ составляет не менее 1651 Вт.

1.6. Спутниковая система «Гонец» в навигации судоходства Северного морского пути. Основные сведения системы «Гонец».

АО «Спутниковая система «Гонец» — Единый оператор Госкорпорации «Роскосмос» по системам связи, вещания и ретрансляции. Система «Гонец» — низкоорбитальная спутниковая система, предназначенная для передачи данных и предоставления услуг связи мобильным и стационарным абонентам, обмена сообщениями, мониторинга инфраструктуры и объектов в районах с отсутствующим покрытием наземными сетями связи (GSM, 3G, LTE).

В навигации судоходства Северного морского пути перед системой «Гонец» стоят следующие задачи - передача данных Северного морского пути, передача координат ГЛОНАСС / GPS, персональные сообщения, M2M спутниковый канал связи.

Инфраструктура системы «Гонец» обеспечивает эффективный информационный обмен с космическими аппаратами орбитальной группировки и 100% покрытие Земного шара услугами спутниковой связи.

Назначение Системы «Гонец» Северного морского пути

1. Обмен сообщениями в глобальном Масштабе
2. Передача данных ГЛОНАСС/GPS местоположения объектов
3. Циркулярная передача сообщений группам Пользователей

4. Передача телеметрической информации с контролируемых объектов в центры мониторинга.

Системой «Гонец» Северного морского пути имеет ряд преимуществ:

1. Система «Гонец» – российская система. Отключение ее абонентов по политическим и экономическим мотивам невозможно.

2. Всенаправленная антенна позволяет работать на мобильных объектах и не требует систем наведения и сопровождения спутника.

3. Прием и передача сигнала не зависят от характера ландшафта и растительности.

4. Осуществляется аутентификация абонентов при доступе к каналу спутниковой связи.

5. Используются сигналы «Гонец» для определения местоположения объектов.

6. Возможна реализация комплексных решений по мониторингу местоположения объектов и передачи данных.

1.7. Применение Система «Гонец» в навигации Северного морского пути.

Система «Гонец» применяется для мониторинга инфраструктуры электросетевого комплекса Северного морского пути. Она осуществляет эффективный контроль за состоянием подстанций, магистральных линий электропередачи и любых других объектов электросетевого комплекса. Отправляет управляющие команды на распределительные подстанции. Независимый спутниковый канал передачи данных в диспетчерские пункты. Ведет учёт и контроль транспортировки электроэнергии. Минимизация потерь электроэнергии за счёт отслеживания несанкционированных врезок в магистральные линии.

Система «Гонец» Северного морского пути применяется для мониторинга линейных и оперативно-выездных бригад Северного морского пути. Осуществляет передачу нарядов-допусков по электронной почте через спутниковые каналы системы «Гонец», персональный контроль местоположения и перемещения сотрудников и спецтранспорта линейных и оперативно-выездных бригад Северного морского пути. Обеспечение сотрудников персональной связью (передача сообщений и электронной почты). Эта система позволяет оперативное получение отчётов о выполненных работах, доставка сигналов бедствия из любой точки Земли.

Значительное количество Северного морского пути не покрыто услугами сетей связи. Использование спутниковой связи для передачи сигнала SOS и иной телеметрии кардинально повышает безопасность грузовых и пассажирских суд перевозок.

АО «Спутниковая система «Гонец» предоставляет такие сервисы широкому кругу потребителей в частном и государственном секторах экономики. Одним из способов удаленного контроля перемещения грузов является абонентский модуль, предназначенный для получения, хранения и

передачи информации по спутниковому каналу Северного морского пути. Устройство прошло успешное тестирование на служебном коммерческом транспорте и применяются для мониторинга грузов, требующих особого внимания.

В соответствии с техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС018/2011) «О безопасности колесных транспортных средств» с 2017 г. Все судостроения, производимые на территории ЕАЭС, должны оснащаться терминалами системы «ЭРА-ГЛОНАСС», которая служит для экстренной передачи информации с таковых.

Вместе с тем, на сегодня передача сигнала возможна только с мест, покрытых наземными сетями связи. Для повышения безопасности груза- и пассажир перевозок Северного морского пути, где такое покрытие отсутствует, разработан проект по интеграции систем «ЭРА-ГЛОНАСС» и «Гонец». В случае, если ДТП происходит в районе, где наземные сети связи отсутствуют, для передачи сигнала используются каналы спутниковой системы «Гонец», которая обеспечивает 100% покрытие Земли и гарантированную передачу вызова в оперативные службы.

Абонентское оборудование система «Гонец» Северного морского пути необходима для поиска и спасения людей, а также передачи персональной информации и телеметрии в удаленных изолированных районах.

«Гонец-Рюкзак» комплектуется спутниковым терминалом, аккумуляторной батареей и точкой доступа. По беспроводному каналу пользователь связывается через смартфон или иное мобильное устройство со спутниковым терминалом «Гонец», а затем информация передается по спутниковому каналу связи.

«Гонец-Мобильный» является компактным комплексом связи для передачи координат, тревожных и коротких голосовых сообщений (в виде файла). Устройство объединяет мобильную антенну и блок приема-

передачи в едином пластиковом корпусе с защищенностью IP66. Передачу информации можно осуществлять с любого мобильного устройства через канал Bluetooth с использованием различных текстовых мессенджеров. Реализована функция записи голосового сообщения, и отправка в виде аудиофайла. Передачи сообщений и координат происходит как в автоматическом режиме, так и в ручном режиме с любого мобильного устройства.

«Гонец-Кейс» модуль экстренной связи предназначен для двухсторонней передачи данных из любой точки мира. Всенаправленная антенна позволяет осуществлять прием и отpravку информации в любых, в том числе сложных условиях (городская агломерация, гористая местность, водная поверхность и т.д.). С помощью мобильного телефона пользователь получает доступ к личному кабинету для отправки и получения сообщений, а также управления устройством «Гонец-Кейс» востребован в работе потребителей, для которых повсеместная доступность связи является критически важной. Срок службы аккумуляторной батареи в режиме готовности — до 1 года без подзарядки.

1.8. Цифровые системы «Гонец». Цифровые сервисы решения в сфере IoT / M2M Система «Гонец» Северного морского пути.

Цифровые системы «Гонец» Северного морского пути ведут удаленный мониторинг энергоресурсов. Отличным решением для систем, нуждающихся в надежном и автономном контроле уровня ГСМ, является радиоволновой датчик уровня. Устройство демонстрирует высокую точность измерений как в открытых, так и закрытых резервуарах. Сервис обеспечивает непрерывный мониторинг на удаленных объектах хранения энергоресурсов, позволяя предотвращать техногенные аварии и противоправные действия.

Возможности цифровой системы «Гонец» Северного морского пути:

- Периодичностью сбора данных устанавливается пользователем самостоятельно (от 1 секунды)

- Профилирование расхода ГСМ на графике и сигнализация при отклонениях от рабочего профиля

- Передача накопленных данных мониторинга через спутниковую систему «Гонец» на электронную почту, в личный кабинет или на FTP-сервер для последующего анализа и визуализации

- Возможность интеграции дополнительных устройств и датчиков. Управление контроллером возможно как удаленно (через терминал «Гонец»), так и локально в ручном режиме.

Система «Гонец» Северного морского пути широко применяется.

1. В нефтехимической отрасли (транспортировке и хранении ГСМ).

2. на объектах коммунального комплекса и очистных сооружениях,

3. на гидродинамических объектах, плотинах и дамбах,

4. в аграрном комплексе.

Интеграция IoT-решений в производственные процессы позволяет выявлять неэффективное использование топливных и других ресурсов, простой или перегрузку механизмов, необходимость проведения профилактических работ и многое другое. Оптимальным способом передачи данных IoT выступают наземные сети связи, однако их распространенность является ограниченной. В силу особенностей передачи трафика в IoT-системах (относительно низкие скорости и малый объем) спутниковая связь является оптимальным решением для районов, не имеющих наземного покрытия, и критически важных объектов.

Сферы применения спутниковых IoT-решений: грузоперевозки и логистика, управление парком грузовых судов Северного морского пути,

энергетика и коммунальные сети: безопасность, эффективности непрерывность в осуществлении критически важных операций, благодаря мониторингу топливных и газовых хранилищ, нефтепроводов и газопроводов, и прочей инфраструктуры.

1.9. Преимущества спутниковой системы «Гонец» в навигации Северного морского пути.

Гибкая интеграция. Абонентское оборудование спутниковой связи «Гонец» позволяет легко интегрировать его в различные системы заказчика.

Доступность. Стоимость абонентской платы существенно ниже, чем у других спутниковых операторов.

Цифровая экономика. Цифровые сервисы системы «Гонец» обеспечивают в любой точке Земли экстренное реагирование на экологические и техногенные катастрофы, связь с мобильными пользователями (экстренные службы) и резервные каналы связи на критически важных объектах.

IoT / M2M Система «Гонец» обеспечивает различные отрасли мировой экономики и спутниковыми каналами связи и для систем IoT / M2M вне зон обслуживания наземных сетей.

100% покрытие Земли. Система «Гонец» оказывает услуги связи в любой точке планеты, включая полюса Земли, и по характеристикам сопоставима с подобными системами.

Защита информации Система «Гонец» осуществляет передачу информации по защищенным каналам связи, что гарантирует ее конфиденциальность.

Глава 2. Системы функциональных дополнений ГНСС в навигации Северного морского пути.

2.1. Принцип дифференциальной коррекции ГНСС в навигации Северного морского пути.

Развитие мировых ГНСС идет по пути повышения точности и доступности позиционирования, обеспечения целостности навигационного поля, а также расширения доступных услуг. Сформировалось два направления развития ГНСС, связанных с повышением точности и надежности предоставляемых ими навигационных услуг: модернизация существующих (ГЛОНАСС, GPS) и создание новых ГНСС (европейский проект Galileo, китайский проект Beidou); развитие ФД.

ФД ГНСС предоставляют потребителям дополнительную информацию, которая позволяет повысить точность и достоверность определения пространственных координат, скорости движения и времени.

Выходная информация ФД доводится до потребителей по специальным каналам связи. Она обычно содержит КИ (для устранения или уменьшения погрешностей определения местоположения потребителей) и информацию о целостности ГНСС (для обеспечения достоверности результатов место определения).

В Российской Федерации и в других странах развернуты ФД различного типа и ведутся активные работы по модернизации существующих и созданию новых систем. В настоящее время Госкорпорация «Роскосмос» ведёт работы по созданию глобальной системы высокоточного определения навигационной и ЭВИ в реальном времени для гражданских потребителей. Проект предполагает развёртывание глобальной сети ССИ и создание на базе навигационных радиосигналов ГЛОНАСС и дополнительной корректирующей информации системы предоставления услуг высокоточных навигационных

определений. Работы ведёт АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения».

Высокоточную информацию на безвозмездной основе по сети Интернет в обеспечение широкого использования спутниковой навигации в Российской Федерации предоставляют научные центры:

- ИАЦ КВНО АО «ЦНИИмаш» — ассоциированный центр анализа Международной службы IGS (International GNSS service), ассоциированный центр анализа Международной службы лазерной дальнометрии (ILRS), официальный центр анализа Международной службы вращения Земли (IERS). Продукты центра – высокоточная ЭВИ для ГЛОНАСС и GPS, параметры вращения Земли.<ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/PRODUCTS/>

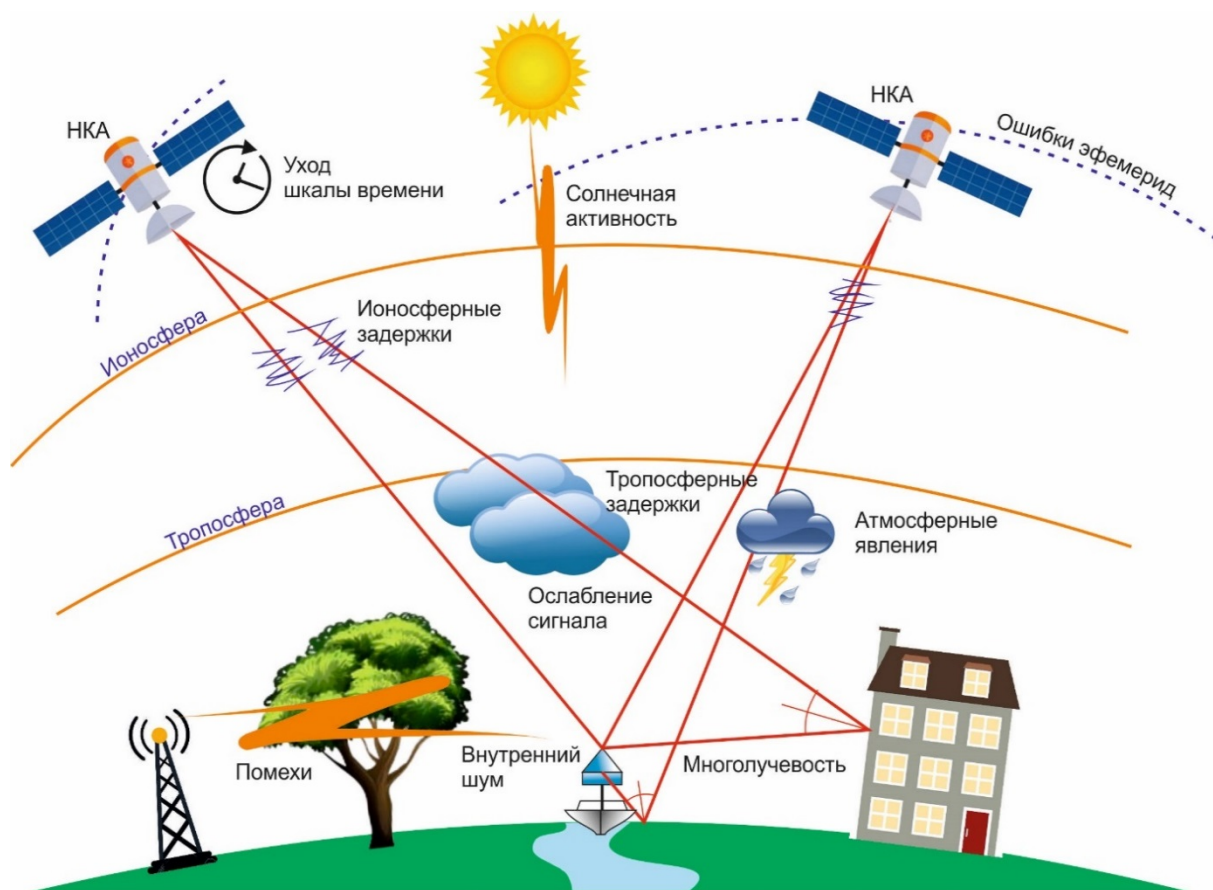
- АО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения» — СВОЭВП[6].

Как уже отмечалось выше, навигационные определения по сигналам ГНСС подвержены множеству разного рода факторам, вызывающих ошибки в точности координирования (рисунок 2.1.) Дифференциальная технология работает, если преобладающие ошибки являются систематическими ошибками, вызванными причинами, находящимися вне приемника, главными из которых являются: ионосферные задержки, тропосферные задержки, ошибки эфемерид, ошибки часов, погрешности от эффекта многолучевости, Преднамеренные ошибки (селективный доступ в GPS).

Метод дифференциальной коррекции заключается в том, что на опорной станции (ОС, англ. RS – Reference Station) за счет точного знания собственных координат вычисляются поправки к измеряемым псевдодальностям до всех видимых НКА и передаются потребителям.

Прием поправок потребителями осуществляется с помощью приемников корректирующей информации (ПКИ), имеющих соответствующий интерфейс для сопряжения с НАП, либо исполненных в едином конструктиве. Получаемая КИ учитывается НАП при решении навигационной задачи. Дифференциальный режим достаточно хорошо компенсирует ошибки, вызываемые задержкой сигнала в ионосфере и тропосфере, если пользователь находится вблизи опорной станции, пути соответствующих сигналов от спутников достаточно близки, так что компенсация является почти полной.

Рисунок 2.1. - Факторы ухудшения точности ГНСС



Когда удаление пользователя от опорной станции возрастает и различные пути прохождения сигналов от спутников через ионосферу и

тропосфере будут отличаться достаточно сильно, атмосферные неоднородности могут вызывать до некоторой степени различные задержки, что привнесет ошибку в дифференциальных измерения, называемую пространственной декорреляцией. Эта ошибка становится больше при удалении пользователя от опорной станции и становится существенной при удалении на сотни километров.

Эфемероидные ошибки, если они достаточно велики (30 м и больше) точно так же компенсируются дифференциальным режимом.

Ошибки шкалы времени НКА полностью компенсируются дифференциальным режимом, пока приемник пользователя и опорная станция используют данные одних и тех же НКА.

Таким образом, за исключением внутренних шумов приемника и погрешности от эффекта многолучевости, все составляющие погрешности формулы 1.16 существенно снижаются. Эффект многолучевости более ярко выражен в условиях изрезанного рельефа или наличии отражающих поверхностей искусственного или естественного происхождения.

Дифференциальный режим также реализует функцию контроля целостности систем ГНСС, которая детектирует и позволяет включать в состав сообщений с КИ признак неисправности конкретного НКА, если привносимые им ошибки превышают заданные пределы. Многие приемники умеют исключать из обработки данные от тех НКА, в отношении которых в составе сообщений КИ содержится признак неисправности.

Дифференциальный режим ГНСС предполагает получение точностей от 1 до 5 метров для динамических навигационных приложений.

Отметим особо, что дифференциальный режим не решает проблему помехозащищенности потребителей от радиопомех, вносимых в сигналы ГНСС. Компенсации также не пожелат помехи, вызванные наложением на

приемной антенне полезного сигнала с отраженным от поверхности воды, земли и различных объектов.

2.2. Типовая структура СФДв навигации Северного морского пути.

Необходимыми сегментами типовой структуры любых СФД являются сегмент формирования корректирующей (или иного рода дополнительной) информации, сегмент информационного обмена и собственно технические средства на стороне потребителя, обеспечивающие прием и учет полученной информации в своих навигационных решениях (рисунок 2.2).

Более развернуто типовая структурная схема построения СФД приведена на рисунке 2.3.

В соответствие сегментам типовой структуры в системах дифференциальной коррекции будут соответствовать три основные подсистемы:

- подсистема выработки КИ, основу которой составляет опорная станция, одна или несколько, часто объединяемых в сеть каналами наземной связи;
- подсистема информационного обмена данными, обеспечивающей информационный обмен между элементами системы, управление элементами системы, хранение и преобразование данных, взаимодействие с сопряженными внешними системами и доставку информации до конечного потребителя;
- навигационное и иное оборудование конечного потребителя, реализующее предусмотренный в системе дополнительный навигационный функционал.

Ключевым элементом подсистемы выработки корректирующей информации является опорная (часто называется базовая) станция, которая собирает максимально возможное количество данных с НКА ГНСС и в зависимости от функционального назначения СФД реализует те или иные алгоритмы формирования КИ. Для СФД с широкой зоной действия, а также реализующих алгоритмы территориально распределенного предоставления КИ, характерно использование нескольких ОС, объединенных в сеть с различным уровнем агрегации первичной информации. Также в роли источников и потребителей первичной информации могут выступать аналогичные сопряженные системы, такие как СДКМ – система дифференциальной коррекции и мониторинга, взаимодействие с которыми обеспечивается посредством подсистемы информационного обмена данными[6].

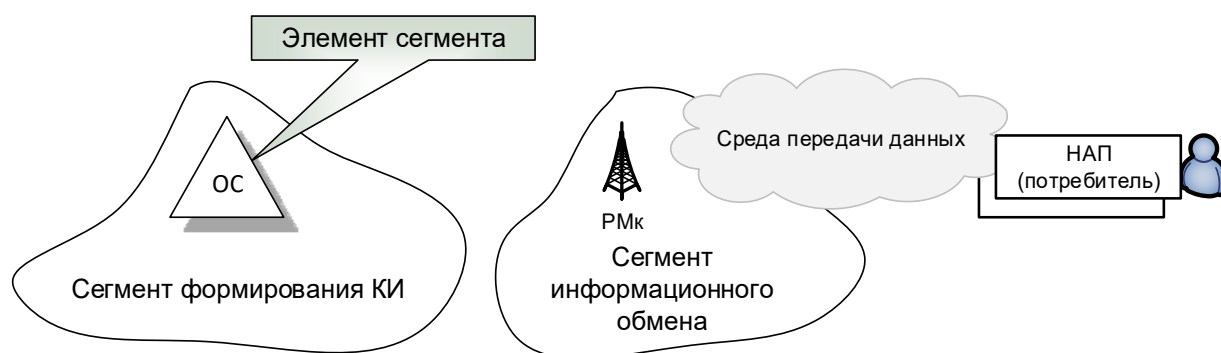


Рисунок 2.2 - Сегменты типовой структуры СФД ГНСС

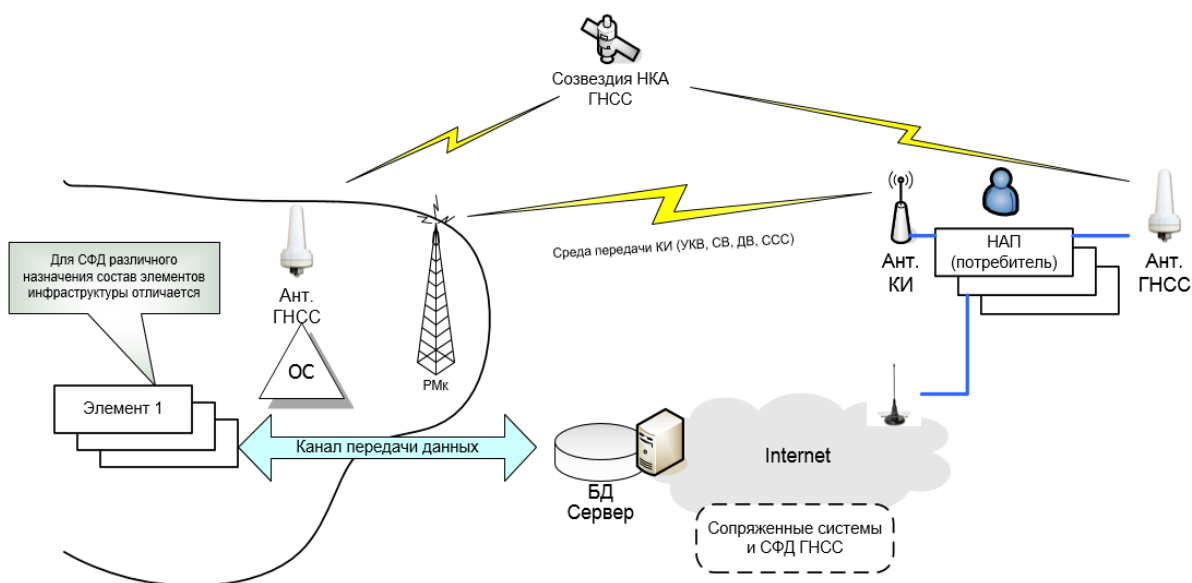


Рисунок 2.3 - Типовая структурная схема построения СФД

В подсистему выработки корректирующей информации, как правило, входят инфраструктурные элементы, обеспечивающие целостность, контроль достоверности вырабатываемой КИ, удаленный доступ и т.п. Так в состав инфраструктурных элементов подсистемы выработки корректирующей информации морских систем помимо ОС входят станции интегрального контроля (СИК) со своими антеннами ГНСС, контрольная станция, удаленная контрольно-управляющая станция, удаленный пункт контроля, региональный и федеральный центры управления.

В состав ОС, формирующей корректирующую информацию, входит высокоточная приемная спутниковая аппаратура, к которой предъявляется повышенные требования к точности выработки первичных навигационных измерений и способности работы по всем сигналам, системам и диапазонам частот ГНСС, для которых формируется КИ.

Подсистему доставки корректирующей информации до потребителя могут образовывать различные радиотехнические средства, такие как радиомодемы, радиомаяки с антеннами УКВ диапазона, станции СВ и даже СДВ связи, системы спутниковой связи (ССС), системы беспроводной связи, аппаратура сетевого обмена данными и т.д.

Говоря о подсистеме информационного обмена данными, в первую очередь следует указать на ее консолидирующую роль при реализации территориально распределенного предоставления корректирующей информации, которая выражается как в сборе, анализе и обработке данных от сети ОС, так и в предоставлении различного рода КИ сетевым потребителям, реализующих технологии клиент-сервер. К такого рода КИ могут относиться ассистирующая информация и готовые навигационные решения, данные для постобработки высокоточных измерений и апостериорного мониторинга по оценке различных характеристик, влияющих на качество навигационных измерений.

Классификация СФД производится по целому ряду признаков, но как всякая классификация такое деление носит условный характер. На сегодняшний день для понимания областей применения СФД можно предложить классификацию, приведенную на рисунке 2.3.

Деление СФД по назначению имеет исторические корни. По принципу действия системы дифференциальной коррекции логично относятся к корректирующим системам. Большинство классификационных признаков понятны интуитивно, поэтому остановимся на детализации только значимых.

Деление СФД по зоне покрытия на широкозонные, региональные и локальные обусловлено способом доставки КИ до конечного потребителя. Широкозонные СФД формируют и доставляют КИ, которая методически применима и доступна потребителям на больших площадях вплоть до глобального покрытия. При этом доставка КИ осуществляется с

использованием сети интернет или соответствующих систем спутниковой связи. Широкозонными являются СФД космического базирования, такие как SBAS, а конкретно: американская WAAS, европейская EGNOS, отечественная СДКМ и другие, - а также коммерческие StarFire и OmniSTAR, предоставляющие навигационный сервис на дециметровых уровнях точности[7].



Рисунок 2.3. - Принципы классификации СФД

Региональные СФД также покрывают значительную, но меньшую по площади территорию, например, обусловленную дальностью передачи КИ по радио в СВ, ДВ диапазоне или связанной сетью базовых станций УКВ. Соответственно к локальным можно отнести системы, развернутые вокруг одной или нескольких базовых станций, формирующих и доставляющих КИ на ограниченной территории от единиц до сотен километров, как правило, до 250 – 300 км.

В таблице 2.1. приведены существенные отличительные параметры СФД в зависимости от зоны покрытия.

МДПС по зоне покрытия относится к локальным. Поэтому часто в литературе и сети интернет встречается аббревиатура МЛДПС, что не противоречит правилам. МЛДПС имеют в своем составе одну ККС со

средствами доставки КИ потребителям и по необходимости средства удаленного управления и контроля. В качестве средств доставки КИ потребителям применяют действующие радиомаяки или разворачивают передающие радиомаяки и антенны УКВ диапазона на территории, прилегающей к маячным сооружениям. Дальность радиовидимости МЛДПС по открытому морю достигает 500 и более км, но методически КИ на таких расстояниях не применимы из-за высокой пространственной декорреляции ошибок.

Классификация СФД по размещению определяется местом размещения базовых элементов системы. Если с наземными базовыми станциями по вопросу размещения все понятно, то под бортовыми подразумевается вариант разворачивания системы, например, относительной коррекции в рамках одного объекта или группы совместно действующих подвижных объектов. К виртуальным относятся системы, в которых базовые элементы физически могут отсутствовать, например, виртуальные базовые станции (VRS) способные формировать расчетным путем КИ для заданных координат.

Следует выделить СФД, отличающиеся от традиционно применяемых морскими потребителями, это относительные и ассистирующие функциональные дополнения. Примером относительных систем может служить системы, использующие «псевдоспутники».

Такие СФД представляют собой один или несколько псевдоспутников (другое название псевдолитов), формирующих навигационные сигналы подобные сигналам НКА. Они формируют радионавигационное поле в ограниченном районе, привязка которого к общепринятым системам координат имеет относительный характер. Размер зоны покрытия определяется применяемым методом и характеристиками передатчиков сигналов псевдоспутников.

Таблица 2.1.

Параметры СФД в зависимости от зоны покрытия.

Параметры	Функциональные дополнения		
	Локальные дифференциальные системы	Региональные дифференциальные системы	Широкозонные системы дифференциальной коррекции
Состав	одна или несколько станций сбора измерений канал передачи данных	региональная сеть станций измерений, каналы передачи данных вычислительный центр	широкозонная сеть станций измерений каналы передачи данных вычислительный центр наземный комплекс управления
Корректирующая информация	поправки к навигационным параметрам, измеряемым потребителем информация о целостности системы, то есть информация о сбоях в работе ГНСС, не обнаруженных или не исправленных её собственными средствами в процессе эксплуатации, передача информация о целостности системы предотвращает использование потребителями некорректных навигационных данных	Поправки к навигационным параметрам, измеряемым потребителем информация о целостности системы	поправки к навигационным параметрам, измеряемым потребителем поправки к эфемеридно-временной информации информация о целостности системы (эфемеридно-временная информация – данные для расчёта орбиты космического аппарата и данные бортовых часов)
Каналы передачи	наземные линии передачи данных (наземные линии передачи данных – УКВ/ПВ-радиостанции, системы подвижной беспроводной связи или сеть Интернет.)	наземные линии передачи данных	космические аппараты связи и ретрансляции, наземные линии передачи данных
Зона действия	10 – 400 км	400 – 2000 км	2000 – 5000 км и более
Погрешность определения местоположения потребителя	от менее 1 до 30 см	от 5 до 50 см	от 50 см до 2 м

Ассистирующие системы реализуют так называемый режим «assistedGNSS» и формируют не корректирующие поправки, а вспомогательную информацию для ускорения вхождения в связь с НКА и повышения надежности местоопределений потребителей в условиях

плохого приема или ограниченной радиовидимости НКА. Более совершенные ассистирующие системы могут принимать на себя задачи навигационных вычислений по данным, полученным от потребителя, возвращая ему готовое решение, а также хранить и предоставлять первичные навигационные данные для постобработки.

Для целей нашей работы наибольший интерес представляют локальные дифференциальные подсистемы, используемые при построении функциональных дополнений ГНСС на ВВП России, которые мы условно разделим на морские и речные.

2.3. Локальные дифференциальные подсистемы.

Для унификации формата сообщений и применения дифференциального метода в оборудовании различных производителей, специальным подкомитетом № 104 морской радиотехнической комиссии (RTCM), с 1985 года разрабатываются рекомендации, которых придерживается подавляющее большинство производителей оборудования и поставщиков услуг для морских и наземных потребителей ГНСС (авиационные потребители придерживаются рекомендаций комиссии RTCA). Актуальные на сегодняшний день рекомендации RTCM 104 версии 2.3 (RTCM 10402.3) описывают методы дифференциальной коррекции с использованием, как кодовых, так и фазовых измерений сигналов GPS и ГЛОНАСС. Для повышения эффективности передачи корректирующей информации применительно к фазовым измерениям, был разработан новый тип протокола, обозначаемый номерами версий 3.x (последняя версия: RTCM 10403.3 от октября 2016 года). Версии 2.3 и последующие 3.x не совместимы, поэтому существуют параллельно, а для передачи КИ по сети Интернет руководящими документами являются протоколы версии 10.x. Первая и она же текущая версия: RTCM 10410.1.

Линия передачи данных для доставки, корректирующей информации потребителям может иметь любую физическую природу, в том числе отличную от радио, например, сеть Интернет. Главное требование - сообщения должны непрерывно и надежно передаваться на достаточной скорости. Так для морских применений скорость передачи данных регламентирована от 50 до 400 бод, а для авиационных не менее 31.5 Кбод. Для морских и речных применений логично был предложен радиочастотный диапазон выпадающих из активного пользования морских круговых радиомаяков 283.5 – 325.0 кГц, предоставляющий кроме значительной дальности радиовидимости и готовую наземную инфраструктуру. Стандартом де факто передача КИ посредством морских радиомаяков ведется на скорости 200 бод.

Использование морских локальных дифференциальных подсистем (МЛДПС или МДПС) с целью повышения точностных характеристик прибрежного мореплавания в соответствии с Резолюциями ИМО, признано обязательным для навигационного обеспечения судов в целях безопасности их плавания на подходах к портам, в узкостях и районах с ограниченной свободой маневрирования.

2.4. Основные принципы работы системы ГЛОНАСС Северного морского пути.

Непрерывно излучаемые спутниками системы ГЛОНАСС Северного морского пути навигационные сигналы двух типов: навигационный сигнал стандартной точности (СТ) и навигационный сигнал высокой точности (ВТ). В диапазонах L1 и L2 (1, 2 ГГц. Информация о навигационном сигнале СТ доступна всем потребителям на постоянной и глобальной основе, обеспечивает возможность определения: горизонтальные координаты с точностью 50-70 м (вероятность 99,7%); вертикальные

координаты с точностью 70 м (вероятности 99,7%); состав вектора скорости с точностью 15 см /с (вероятность 99,77%); точное время с точностью 0,7 мкс – это вероятность 99,7%.

При использовании дифференцированного метода навигации и/или дополнительных специальных методов измерения эти точности могут значительно улучшиться. Чтобы определить координаты и точное время, необходимо принимать навигационные сигналы от четырех спутников ГЛОНАСС. Перед подачей сигналов ГЛОНАСС приемник использует радиотехнические методы для измерения дальности до видимых спутников и измеряет скорость их движения. При проведении измерений в приемнике автоматическая обработка содержащихся в каждом навигационном радиосигнале меток времени и цифровой информации. С помощью цифровой информации можно определить положение данного спутника в пространстве и времени (эфемериды), которое относительно единой для системы шкалы времен, а также геоцентрической связанной декартовой системы координат. При этом цифровые данные описывают положение остальных спутников системы в виде кеплеровских элементов их орбит и содержат некоторые другие параметры. Итоги измерения и цифровая информация являются исходными данными для решения навигационной задачи по определению координат, параметров движения. Задачи, которые необходимо решить автоматически, решаются в вычислительном устройстве приемника с использованием известного метода наименьших квадратов. После решения определяются три координаты места потребителя, скорость его движения и привязка шкалы времени потребителя к высокоточной шкале Координированного всемирного времени (UTC).

Радиосигнал верхнего диапазона частот НКА ГЛОНАСС Северного морского пути состоит из двух сдвинутых на 90 градусов фазоманипулированных сигналов открытого дальномерного сигнала и высокоточного сигнала высокой точности, доступного ограниченному кругу потребителей. Источник: GPS. Широкополосный сигнал открытого дальномерного кода модулируется еще и служебной навигационной информацией. Пока что сигналы нижнего диапазона предназначены только для передачи высокоточных сигналов. Однако, новые НКА GLONASSM будут излучать и сигналы открытого дальномерного кода, что позволит всем категориям пользователей осуществлять ионосферную коррекцию.

Обязательная информация вводится на узкополосный дальномерные сигналы путем инвертирования открытого кода. Размер текста в строке служебной информации равен 2 с: первые 0,3 сек. предназначены для метки времени, а остальные 1,7 секунды предназначены для передачи 85 двоичных символов. В полном виде навигационная информация содержит 15 строк (30 сек.) Пять кадров в суперкадре объединяются вместе. Каждый кадр содержит полный объем цифровой информации, относящийся к данному НКА и часть альманаха системы ГЛОНАСС Северного морского пути. Один из суперкадров, который был передан в систему, полностью передается одним суперкадром. В оперативной информации по каждому навигационному спутнику содержится: признаком достоверности информации в кадре является ее достоверность, какое время начинается кадр, укажите координаты и скорости НИСЗ в Гринвичской прямоугольной системе координат на момент времени t_0 .

2.5. Перспективы развития ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути.

С 2019 года была запущена серия спутников нового поколения «ГЛОНАСС-К1» и «ГЛОНАСС-К2», которые призваны увеличить точность навигационного обеспечения с использованием новых сигналов. Разработка новых спутников «ГЛОНАСС-КМ» ведется с 2017 г. С 2025 года планируется их запуск. Передатчики сигналов, частоты и вид модуляции которых совпадают с модернизированной GPS европейской Galileo или китайской Compass, могут быть введены в спутники «ГЛОНАСС-КМ».

При этом основными являются следующие направления модернизации навигационных сигналов ГНСС ГЛОНАСС Северного морского пути: обеспечение лучшей точности для фазовых измерений и измерения псевдо дальности, обеспечить лучшую защиту от помех и устойчивость сигналов ГНСС ГЛОНАСС и обеспечить совместимость ГНСС.

При этом развитие системы ГЛОНАСС Северного морского пути направлено на улучшение характеристик точность. Это будет сделано с помощью четырехкратного повышения точности, которое планируется осуществить с помощью:

1. Использования нового бортового синхронизирующего устройства для модернизации оборудования наземного сегмента.
2. Запуск новых технологий управления космическими аппаратами и эфемероидно-временного обеспечения на основе межспутниковых линий связи в радио- и оптических диапазонах.
3. Переход на новую систему координат ПЗ-90.11, параметры перехода из которой в WGS-84 составляют единицы миллиметров.

4. Погрешность погрешности не менее 2 нс. Для обеспечения синхронизации шкалы времени ГНСС ГЛОНАСС с национальной шкалой времени UTC (SU).

Для использования роботизированных комплексов, основанные на координатно-временном и навигационном обеспечении необходимо развитие высокоточных приложений системы ГЛОНАСС Северного морского пути с погрешностью менее 0.1 м в реальном времени. Научно обосновано создание высокоорбитального космического комплекса, обеспечивающего навигационное покрытие территории России и зон экономических и геополитических интересов Российской Федерации, таких как Арктика, Ближний Восток, Средняя Азия и Азию. В рамках развертывания высокоорбитального космического комплекса будет решена следующая задача:

1. Трансляция коррекционной информацией, а также информации целостности СДКМ в высоких широт.
2. Непрерывная передача высокоточной эфемеридно-временной информации ГНСС (GPS, Galileo и Beidou) сантиметрового уровня точности.
3. Поддержка передачи информации о целостности (ARAIM).

Разработку высокоорбитального дополнения к системе ГЛОНАСС Северного морского пути предусматривает традиционный космический сегмент, состоящий из 24 НКА на средних орбитах, которые формируют основное глобальное радионавигационное поле, и космического комплекса из 6 НКА в двух трассовых системах с долготой 60 и 120. Он дополняет основное глобальное радионавигационное поле для предоставления современных услуг функциональных дополнений.

2.6. Принцип построения и работы Северных морских путей ЛДПС.

Целесообразность развертывания сети контрольно-корректирующих станций морской дифференциальной подсистемы ГНСС ГЛОНАСС/GPS определяется необходимостью создания надежного навигационного средства обеспечения безопасности плавания судов, их эффективной эксплуатации, а также предотвращения экологических бедствий на акваториях с интенсивным судоходством, на подходах к портам, в портовых водах и в узкостях, где свобода маневрирования ограничена.

Дифференциальные подсистемы ГНСС Северного морского пути на базе ККС, использующие для передачи КИ, представляющую собой поправки к измеренным псевдо дальностям и скорости их изменения до каждого из видимых НКА, получили широкое распространение в виду их относительной простоты в реализации. Заказчикам такой системы достаточно установить одну опорную станцию и обеспечить линию передачи данных до потребителей, чтобы обеспечить полем дифференциальных поправок область в радиусе от 30 до 300 километров от станции. Таким образом, вопрос повышения точности и надежности навигационного обеспечения оптимально подходил для портов, районов активного судоходства, аэродромов, железнодорожных и автомобильных узлов, муниципальных нужд [8].

ККС является базовым техническим средством, обеспечивающим высокоточную координатно-временную информацию о местоположении судов в прибрежной акватории, и организуется в тех районах, где интенсивность движения судов и существующее навигационно-гидрографическое обеспечение требуют повышения уровня безопасности плавания судов с целью защиты окружающей среды, а также сокращения простоев судов и достижения ритмичности работы флота.

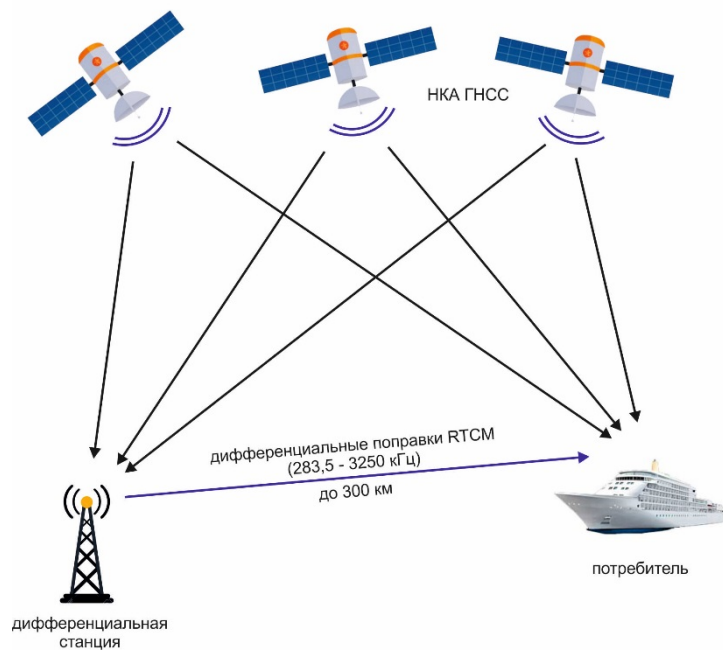


Рисунок 2.4 -Принцип работы ЛДПС ГНСССеверного морского пути.

Сплошное покрытие полем дифференциальных поправок определенного географического региона осуществляется с использованием нескольких ККС, таким образом, чтобы в зонах перекрытия полей исключить работу ККС на одинаковых несущих частотах. Пояснения работы ККС морской ЛДПСГНССГЛОНАСС/GPS приведены на рисунке 2.4.

Опорная станция ККС обеспечивает прием сигналов от всех НКА ГНСССеверного морского пути, находящихся в зоне радиовидимости. Затем, используя известные точные координаты местоположения приемной антенны, формирует и передает в радиомаяк дифференциальные поправки к измеренным псевдодальностям относительно каждого спутника в виде стандартных сообщений RTCM (см. таблицу 2.2).

Рассмотрим подробнее формат сообщений RTCMСеверного морского пути. Сообщения имеют индивидуальный идентификатор (один из 64) и передаются словами длиной 30 бит, последние 6 бит которого содержат критерий четности. Критерий четности основан на использовании

самоконтролирующегося и самокорректирующегося кода Хемминга, который позволяет исправлять одиночную ошибку (в одном бите слова) и находить двойную.

Таблица 2.2.

Основные сообщения МДПС Северного морского пути согласно RTCM.

Номер типа сообщения GPS	Наименование	Номер типа сообщения ГЛОНАСС
1	Поправки ГНСС (для всех видимых КА)	31
3	Параметры опорной станции ККС	32
5	Техническое состояние созвездия	33
6	Нуль-кадр	6
7	Альманахи радиомаяков	35
9	Подгруппа «быстрых» поправок GNSS (взамен типов 1 или 31)	34 (N>1)
16	Специальное текстовое сообщение	36

Несколько базовых типов сообщений определены в их окончательной форме. Часть сообщений определены в предварительной форме; производители оборудования, применяющие эти стандарты, осведомлены о том, что они могут быть изменены по мере появления новых требований. Большое число оставшихся, например, с 38 по 58 типов сообщений остались неопределенными, но зарезервированы для будущего использования в предполагаемых приложениях.

Первые два слова каждой посылки содержат данные, которые имеют отношение к любому типу сообщения, это данные об опорной станции, опорное время и информация, необходимая для синхронизации посылки пользователем.

Основным базовым типом сообщения передачи поправок к псевдодальности до видимых НКА системы GPS является сообщение 1 типа, для НКА системы ГЛОНАСС Северного морского пути – сообщение

31 типа. Данные этих сообщений обеспечивают расчет поправки псевдодальности PRC для времени их приема приемником ГНСС пользователя и учета в решении навигационной задачи. Расчет поправки к псевдодальности до конкретного НКА осуществляется по формуле

$$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC \cdot [t - t_0], \quad (2.18)$$

где $PRC(t_0)$ – 16-битовая поправка псевдодальности; RRC – скорость изменения поправки псевдодальности; $t-t_0$ – возраст поправки.

Параметры $PRC(t_0)$, RRC и t_0 принимаются из сообщения и относятся к спутнику, обозначенному 5-битовым индексом (ID) НКА. Полученная таким образом поправка прибавляется к псевдодальности, измеренной приемником ГНСС на момент « t ».

Чтобы обеспечить общность программного обеспечения приемников пользователя при обработке данных КИ в формате RTCM версии 2.1, формат данных в RTCM версии 2.3 для системы ГЛОНАСС Северного морского пути был скопирован с формата данных GPS с внесением отличий, обусловленных технической спецификой систем. Однако, размер слов, формат и алгоритм четности были сохранены [9].

На рисунке 2.2 приведено содержание фрагмента сообщения типа 31, повторяющегося четыре раза для возможных 12 одновременно видимых НКА системы ГЛОНАСС.

1-битовый коэффициент масштабирования (SF) может иметь только два значения и используется для возможности увеличить диапазон поправок в редких случаях, когда это необходимо. Коэффициент масштабирования для значения 0 принимается равным 0.02 м для поправки псевдодальности и 0.002 м/сек для скорости изменения дальности. Коэффициент масштабирования со значением 1 соответствует 0.32 м, и 0.032 м/сек соответственно.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
SF	UDRE	ID НКА			Поправка псевдодальности												Четность			Слово 3, 8,13,18										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Скорость изменения поправки				Время данных t_0				SF	UDRE	ID НКА			Четность			Слово 4,9,14,19														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Поправка псевдодальности								Скорость изменения поправки				Четность			Слово 5,10,15,20															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Время данных t_0				SF	UDRE	ID НКА			Поправка псевдодальности				Четность			Слово 6,11,16,21														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Поправка псевдодальности								Время данных t_0				Четность			Слово 7,12,17,22															

UDRE (userdifferentialrangeerror) представляет собой оценку неопределенности в поправке псевдодальности на уровне одной сигмы, которая оценивается опорной станцией и интегрирует оцененные воздействия от эффекта многолучевости, по отношению сигнал-шум и другим искажающим воздействиям на сигнал. Коды и соответствующие им параметры ошибки приведены в таблице 2.3.

С нарастанием интервала времени $t-t_0$ поправка псевдодальности $PRC(t_0)$ будет все более отклоняться от истинной величины. По этой причине она должна обновляться и передаваться так часто, насколько это возможно.

Таблица 2.3.

Коды UDRE

Код	Число	Оценка ошибки псевдодальности на уровне одной сигмы
00	(0)	≤ 1 метра
01	(1)	> 1 метра и ≤ 4 метров
10	(2)	> 4 метра и ≤ 8 метров
11	(3)	> 8 метров

Скорость изменения поправки псевдодальности (RRC) предназначена для компенсации отклонений по прогнозируемой скорости изменения

поправки псевдодальности. Она определяется методом интерполяции между замерами в серии измерений. Это обеспечивает возможность «продлить жизнь» для поправки псевдодальности, когда ее «возраст растет». Тем не менее, оборудование пользователя должно обновлять поправки как можно чаще, в связи с чем, рекомендации RTCM регламентируют частоту и порядок передачи сообщений (таблица 2.4).

Таблица 2.4

Частота и порядок передачи сообщений RTCM

Номер сообщения	Частота
1 (31)	Передается настолько часто, насколько возможно, примерно каждые 15-20 с.
3 (32)	Передается дважды в час (по истечении каждой 15-й и 45-й минуты)
5 (33)	Передается в 5-ю (6-ю) минуту каждого часа и затем каждые 15 мин
6	Передается по мере необходимости как заполнитель
7	Передается в 7-ю минуту каждого часа и затем каждые 15 мин
9	Передается каждые 50-60 с.
16 (36)	Передается по мере необходимости
34	N=0 или 1. Передается по мере необходимости
35	Передается в 8-ю минуту каждого часа

Сообщение типа 3 и 32, длиной в шесть 30-битовых слов, содержат информацию об опорной станции GPS Северного морского пути и ГЛОНАСС Северного морского пути соответственно. Оно включает координаты фазового центра антенны опорной станции в земной геоцентрической системе координат с точностью до сантиметра. Рекомендованным опорным эллипсоидом для ГНСС GPS является WGS-84, а для ГНСС ГЛОНАСС – ПЗ-90.

Сообщения типа 5 и 33 содержат информацию о техническом состоянии созвездия НКА по результатам измерений ОС. Эта информация является одной из важных составляющих в информации обеспечения целостности систем ГНСС и может автоматически использоваться приемником пользователя. Содержание сообщения типа 33, занимающего одно 30-битное слово, описано в таблице 1.4. Первый бит зарезервирован для расширения индекса (ID) спутника свыше 32, что позволит принимать не-ГЛОНАСС спутники.

Таблица 2.5

Содержание сообщения типа 33

Параметр	Номер бита	Значение
R (Зарезервирован)	1	Один бит зарезервирован для возможного увеличения числа спутников свыше 32.
Номер спутника (ID)	2-6	Стандартный формат. Бит 2 старший.
	7	Всегда установлен в 0 для ГЛОНАСС
Состояние данных	8-10	Используется только бит #8. Установка бита в 1 означает, что спутник рассматривается станцией как неисправный, даже в том случае, если навигационное сообщение спутника показывает, что спутник и данные исправны.
C/N ₀ (отношение сигнал/шум)	11-15	Отношение сигнал/шум для спутника, измеренное опорной станцией. Коэффициент масштабирования 1 дБ-Гц. Диапазон от 25 до 55 дБ-Гц. Величина "00000" показывает, что спутник не сопровождается опорной станцией. Величина "00001" = 25 дБ-Гц для нижнего уровня, а величина "11111" = 55 дБ-Гц для верхнего.
Разрешенное (допустимое) состояние	16	Установка бита в 1 показывает, что спутник ГЛОНАСС может рассматриваться оборудованием пользователя как исправный, несмотря на тот факт, что спутниковые навигационные данные указывают на его неисправность.
Новые навигационные данные	17	Установка бита в 1 показывает, что опорная станция приняла новые навигационные данные и включила их в процесс генерирования поправки псевдодальности. Это означает, что в сообщениях типа 31 или 34 будет индексироваться новое значение t ₀ .
Сигнализация потери спутника	18	Установка бита в 1 показывает, что изменение сигнализации состояния спутника на "неисправное" запрограммировано. Оставшийся интервал времени состояния "исправности" оценивается следующими четырьмя битами.

Длительность неисправного состояния	19-22	Смотри выше бит 18. Коэффициент масштабирования 5 минут. Диапазон от 0 до 75 минут. Величина “0000” показывает, что спутник близок к переходу в “неисправное” состояние. Величина “1111” показывает, что спутник перейдет в “неисправное” состояние приблизительно через 75 минут.
Резерв	23-24	
Четность	25-30	

Сообщение может содержать информацию об одном или более спутниках. Спутник может находиться вне поля зрения или в поле зрения опорной станции. Это сообщение передается периодически, когда опорной станцией будет определена необходимость этой передачи.

Судовые НАП, принимая одновременно сигналы ГНСС и сигналы радиомаяка, содержащие КИ, определяют местоположение судна с высокой точностью.

Структурная схема морской ЛДПС представлена на рисунке 2.6 В состав МЛДПС принято включать дифференциальную станцию (часто, синоним ККС), удаленную контрольно-управляющую станцию (УКУС) и пункт контроля (ПК). Аппаратура ККС вместе с радиомаяком и системой резервного электропитания составляют дифференциальную станцию.

Для повышения надежности работы дифференциальной станции ОС и СИК, как правило, устанавливаются в двойном комплекте, реализуя возможность автоматического переключения между комплектами при выявлении сбоев в работе автоматизированной системой внутреннего контроля.

Опорная станция, как описывалось выше, вырабатывает КИ и направляет ее в передатчик радиомаяка для излучения. СИК принимает сигналы КИ, решает навигационную задачу и контролирует качество выработки, передаваемой КИ.

Контрольная станция обеспечивает интерфейс человек-машина для управления работой ОС и СИК, а также автоматизированного контроля всей аппаратуры дифференциальной станции связь с удаленной контрольно-управляющей станцией.

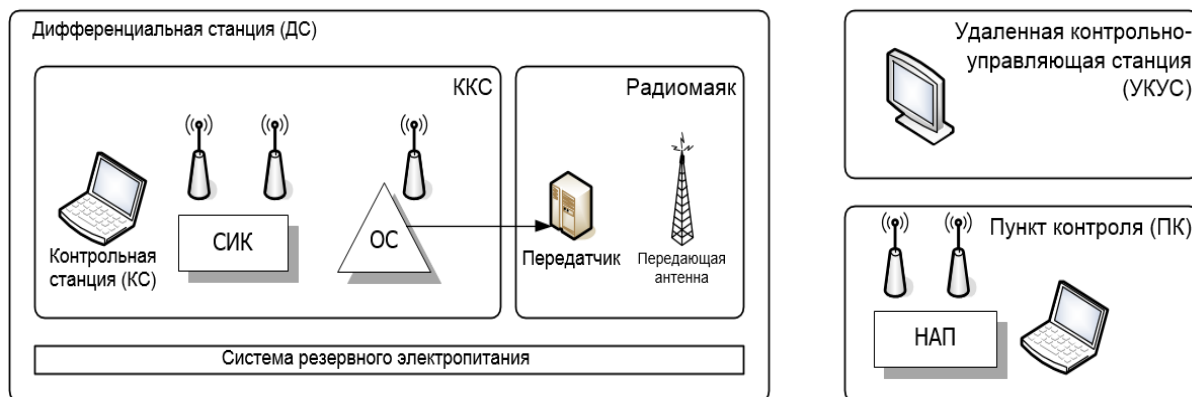


Рисунок 2.6 - Принцип работы ЛДПС ГНСС

В целях контроля качества функционирования оборудования ККС между ОС, СИК и контрольной станцией постоянно осуществляется обмен служебной информацией, для чего используется протокол обмена RSIM, регламентированный рекомендациями RTCM104 версии 1.3 от 2014 года или ГОСТ Р 55109-2012. Протокол RSIM основан на текстовых сообщениях, подобных NMEAс префиксами типа \$PRCM. Названия некоторых сообщений RSIM приведены в таблице 2.6[9].

Таблица 2.6

Названия некоторых сообщений RSIM

RSIM #	Название
1	Запрос RSIM # сообщений/установка интервалов
3	Команды управления
5	Отчет диагностики
6	Параметры приемника спутниковых сигналов

7	Параметры спутников
8	Управление состоянием спутников
12	Сигналы тревог ОС
13	Корректирующая информация ОС
14	Параметры приемника корректирующей информации СИК
15	Состояние канала приема СИК
16	Пороги/интервалы для сигналов тревог СИК
17	Сигналы тревог СИК
18	Основные результаты интегрального контроля
20	Системная обратная связь СИК
22	Расписание передач RTCM сообщений
23	Универсальное RTCM сообщение
53	Расхождение шкал времени
55	Возраст поправок для разных систем

Таким образом МЛДПС имеет возможность самостоятельно, независимо от наземного комплекса управления орбитальной группировкой, оценивать состояние НКА и передавать его потребителям в сообщениях RTCM типа 5, 33 (см. таблицу 1.11), обеспечивая дополнительный и оперативный контроль целостности ГНСС.

УКУС обеспечивает возможность удалённого управления и контроля работы ККС, в том числе изменение режимов работы радиомаяка, настройки аппаратуры ККС и контроль ее работоспособности по данным внутреннего аппаратного контроля. Как правило, УКУС выполняет эти функции посредством обмена данными с контрольной станцией.

Сокращения.

ГНСС – Глобальная навигационная спутниковая система.

НКА – навигационный космический аппарат.

НАП – навигационная аппаратура потребителя.

СФД – система функциональных дополнений.

СДКМ – система дифференциальной коррекции и мониторинга.

КИ – корректирующая информация.

НКУ – наземный комплекс управления.

ЛДПС - локальная дифференциальная подсистема.

Заключение.

Важное место в современной навигации Северного морского пути занимают спутниковые навигационные системы. Они являются уникальным средством высокоточного определения координат любых стационарных и движущихся объектов — место работы геологических партий и строящихся сооружений, наземного и морского транспорта, авиации, а также поиска и спасения терпящих бедствие людей, попавших в аварию судов и самолетов.

Навигационные сигналы, излучаемые спутниками систем «ГЛОНАСС» и «Гонец» обладают общими чертами и существенными различиями по частотному диапазону и структуре навигационной информации. Чтобы исключить ионосферные ошибки в определении дальности, на каждой из двух частот передаются два типа сигналов, стандартной и высокой точности. Сигналы стандартной точности предназначены для использования гражданскими потребителями. Сигналы высокой точности модулированы специальным кодом и доступны только специальным пользователям. Для исключения помех от разных электронных систем спутника их частотные диапазоны разнесены. Одновременный прием сигнала от четырех и более спутников обеспечивается введением различной литерности сигналов для каждого спутника. Космический сегмент системы «ГЛОНАСС» и «Гонец» постоянно совершенствуется

Высокое качество навигационного обеспечения, предоставляемого космическими навигационными системами, привело к широкому внедрению в международном масштабе навигационных технологий во все транспортные средства (морские, наземные, воздушные, космические) различной ведомственной принадлежности (гражданские и военные). В настоящее время, как уже говорилось, эксплуатируются две сравнимые по качеству навигационного обеспечения космические глобальные системы

«ГЛОНАСС»и «Гонец», предназначенные для гражданских потребителей. Главные различия состоят в технической реализации, алгоритмах формирования навигационных сигналов на спутнике, системах отсчета времени и координат, разных частотах сигналов и структуре навигационной информации, передаваемой пользователю. Однако принципы построения, архитектура и виды предоставляемых услуг в обеих системах во многом схожи. Это позволило интегрировать две независимо функционирующие системы путем создания интегрированной навигационной аппаратуры пользователя GPS/ГЛОНАСС. При этом повысилась эффективность навигационного обеспечения, поскольку в результате объединения двух орбитальных группировок количество одновременно видимых спутников в зоне радиовидимости увеличивается, что парирует факторы экранирования при работе потребителя в сложных условиях.

Кроме того, улучшились помехоустойчивость, точность (выбирается оптимальное количество спутников) и надежность навигационного обеспечения за счет возможности отбраковки спутников с недостоверным навигационным сигналом. Несмотря на достаточно высокую точность навигационных определений (в пределах 10 м), обеспечиваемых обеими системами, в настоящее время ведутся работы по созданию функциональных дополнений к ним, реализующих дифференциальный режим.

С целью получения точной информации для потребителей создана система наземных корректирующих станций, размещаемых в пунктах с известными координатами. Они измеряют дальности до всех видимых спутников, определяют дифференциальные поправки между вычисленными по измерениям и известными координатами, а затем передают их потребителю. Он проводит свои независимые измерения навигационных параметров, определяет координаты и уточняет их на

основе полученных дифференциальных поправок, которые передаются с наземной корректирующей станции потребителю через спутник связи или непосредственно по прямой радиолнии, используя специальный радиоканал. Разработаны варианты дифференциальных подсистем с использованием спутников на геостационарной орбите в качестве ретранслятора корректирующей информации (дифференциальных поправок) и дополнительного источника навигационного сигнала. Дифференциальный режим позволяет повысить относительную точность навигационных определений до 1-5 м (в ближней зоне работы контрольно-корректирующей станции). Поэтому метод применим для навигационного обеспечения самолетов вблизи аэропортов, где расположена станция, морских судов недалеко от гаваней и т.д.

Разработан вариант реализации дифференциального режима с использованием псевдоспутника. Псевдоспутник размещается на Земле и излучает навигационный сигнал, аналогичный спутниковому. При этом псевдоспутник становится дополнительной радионавигационной точкой, что повышает точность и надежность навигационных определений. Созданное к настоящему времени единое радионавигационное поле Земли с помощью систем «ГЛОНАСС» и «Гонец», дифференциальных дополнений к ним, наземных систем ближней и дальней навигации обеспечивает высокоточное оперативное глобальное навигационное определение подвижных потребителей любого типа и класса, а также оперативную геодезическую привязку к местности. Оснащение потребителя навигационной аппаратурой и дополнительным каналом радиосвязи с наземной диспетчерской службой позволяет организовать оперативное и надежное наблюдение за движением наземного, морского и воздушного транспорта. Диспетчер получает данные о местоположении подвижного пользователя, сопоставляет их с плановым маршрутом,

корректирует движение, чтобы избежать аварийной ситуации и обменивается информацией с потребителем по служебной радиолинии.

Создаваемая на базе спутниковых систем навигации, связи и наблюдения служба управления движением предъявляет весьма жесткие требования к надежности и доступности навигационного сигнала, что необходимо для обеспечения безопасности пассажиров. Не случайно страны Европейского союза решили создать навигационную спутниковую систему «Galileo» к 2007-2010 гг., по структуре и методу решения задачи подобную «ГЛОНАСС» и «Гонец». Затраты на ее развертывание оценивают в 3.5 млрд. евро. Подразумевается, что потребитель должен обладать навигационной аппаратурой пользователя, принимающей сигналы как от системы «Galileo», так и от систем «ГЛОНАСС» и «Гонец».

Разработка космической навигационной системы нового поколения создала предпосылки совершенствования транспортных средств: увеличение скорости их движения на загруженных маршрутах, повышение пропускной способности портов и безопасности движения. В настоящее время формируется глобальное навигационное поле, обеспечивающее высокое качество навигации всех типов и классов подвижных потребителей с высокой надежностью и доступностью при любых условиях эксплуатации, а также наблюдение за их перемещением.

Список используемой литературы.

1. Карлащук В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства, 2008 г.
2. Кашкаров А.П. Система спутниковой навигации ГЛОНАСС, 2018 г.
3. Кружков Д. М., Пасынков В. В. Отечественная глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС: особенности создания, развития и использования: учебное пособие, 2022 г.
4. Кружков Д. М., Пасынков В. В. Высокоточная навигация на основе информационных ГНСС-технологий. Ч. 2: ГЛОНАСС: информационные технологии и алгоритмы решения навигационной задачи: учебное пособие, 2021 г.
5. Бартенев В.А., Гречкосеев А.К., Козорез Д.А., Красильщиков М.Н. Современные и перспективные информационные ГНСС-технологии в задачах высокоточной навигации, 2014 г.
6. Емельянцеv Г. И., Степанов А. П., Медведков А. А. Интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации.
7. Михайлов В.С., Кудрявцев В.Г. Навигация и лоция. Учебное пособие. К.: Аристей, 2006 г. – 832 с.
8. Михайлов В.С., Кудрявцев В.Г., Давыдов В.С. Практическая мореходная астрономия. Учебное пособие. К.: Аристей, 2006 – 424 с
9. Михайлов В.С., Кудрявцев В.Г. Обеспечение навигационной безопасности плавания. Учебное пособие. К.: Аристей, 2006 – 380 с.
10. Электронный ресурс: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/257906/4>
https://dspace.kpfu.ru/xmlui/bitstream/handle/net/21895/03_00_kl-000786.pdf
http://epizodyspace.ru/bibl/zemlya_i_vseennaya/2006/1-sput-nav.html

https://glonass-iac.ru/guide/function_dop.php

