**Тема 9.**

**Спутниковая радионавигационное система «ГЛОНАСС».**

Основное назначение СНРС второго поколения ГЛОНАСС - глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов: наземных (сухопутных, морских, воздушных) и низкоорбитальных космических. Термин "глобальная оперативная навигация" означает, что подвижной объект, оснащенный навигационной аппаратурой потребителей (НАЛ), может в любом месте приземного пространства в любой момент времени определить (уточнить) па­раметры своего движения - три координаты и три составляющие вектора скорости.

Система разработана по заказу и находится под управлением Министерства Обороны РФ (РВСН). К системе ГЛОНАСС придан статус системы двойного (военного и гражданского) назначения. Россия предоставляет систему в стандартном режиме для гражданского, коммерческого и на­учного использования без взимания за это специальной платы.

В ГЛОНАСС применяются навигационные космические аппараты (НКА) на круговых геоцентрических орбитах с высотой -19100 км рад поверхностью Земли. Благодаря использо­ванию в бортовых эталонах времени и частоты (БЭВЧ) НКА атомных стандартов частоты (АСЧ) в системе обеспечивается взаимная синхронизация навигационных радиосигналов, из­лучаемых орбитальной группировкой НКА. В НАП на подвижном объекте в сеансе навигации принимаются радиосигналы не менее чем от четырех радиовидимых НКА и используются для измерения не менее, чем четырех соответствующих псевдодальностей (ПД) и радиальных псевдоскоростей (ПС). Результаты измерений и эфемеридная информация (ЭИ), принятая от каждого НКА, позволяют определить (уточнить) три координаты и три составляющие вектора скорости подвижного объекта и определить смещение шкалы времени (ШВ) объекта относи­тельно ШВ системы. В СРНС число потребителей не ограничивается, поскольку НАП не пе­редает радиосигналы на НКА, а только принимает их от НКА (пассивная навигация).

Радионавигационное поле СРНС ГЛОНАСС наряду с основной функцией (глобальная оперативная навигация приземных подвижных объектов) позволяет проводить:

* локальную высокоточную навигацию наземных подвижных объектов (сухопутных, морских, воздушных) на основе дифференциальных методов навигации с применени­ем стационарных наземных корректирующих станций и НКА;
* высокоточную взаимную геодезическую "привязку" удаленных наземных объектов;
* взаимную синхронизацию стандартов частоты и времени на удаленных наземных объектах;
* неоперативную автономную навигацию низко- и среднеорбитальных космических объектов;
* определение ориентации объекта на основе радиоинтерферометрических измерений на объекте с помощью навигационных радиосигналов, принимаемых разнесенными антеннами.

СРНС ГЛОНАСС включает в себя три сегмента: космический сегмент с орбитальной группировкой (ОГ) НКА; сегмент управления - наземный комплекс управления (НКУ) орби­тальной группировкой НКА; сегмент НАП - аппаратуры пользователей (рис. 2.1).

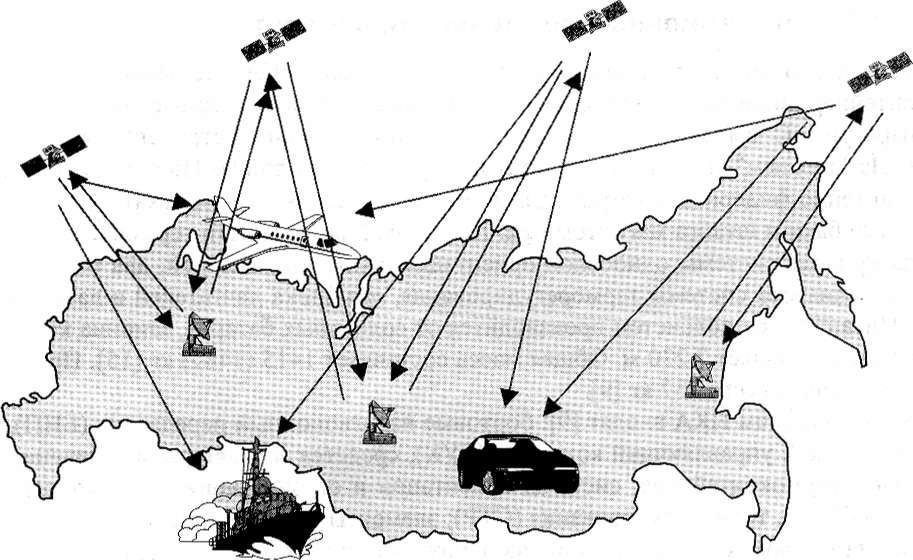


Рис. 2.1. Система ГЛОНАСС

Космический сегмент

Орбитальная группировка

Полная орбитальная группировка (ОГ) в ГЛОНАСС содержит 24 штатных НКА на круговых орбитах с наклонением i=64,8° в трех орбитальных плоскостях по восемь НКА в каждой. Долготы восходящих узлов трех орбитальных плоскостей различаются номинально на 120°. Номинальный период обращения НКА равен Т=11 ч 15 мин 44 с, и, соответственно, номинальная высота круговой орбиты составляет 19100 км над поверхностью Земли. В каж­дой орбитальной плоскости восемь НКА разнесены по аргументу широты номинально через 45°, и аргументы широты восьми НКА в трех орбитальных плоскостях сдвинуты на ± 15°. За время эксплуатации НКА на орбите (до пяти лет) реальные положения НКА в ОГ могут от­личаться от номинальных не более чем на ± 5°.

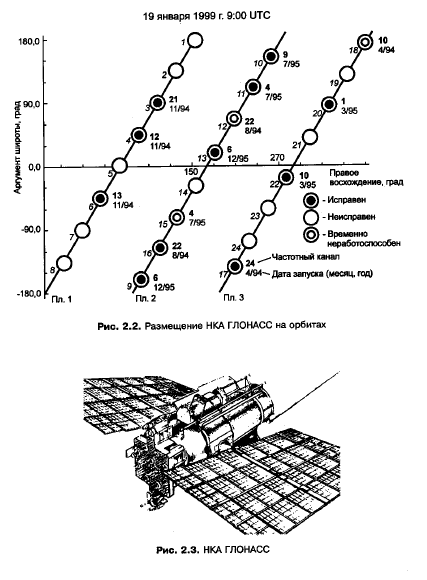
Орбитальное построение ГЛОНАСС может быть схематично проиллюстрирова­но рис. 2.2, на которой выделены орбитальные плоскости и точки "размещения" НКА.

**Навигационный космический аппарат**

Общий вид НКА представлен на рис. 2.3. Основу НКА составляет цилиндрический гермоконтейнер диаметром 1,350 м, в котором размещаются служебные системы и специаль­ная аппаратура. С выдвинутой (раскрытой) штангой магнитометра его длина составляет 7,840 м. На "нижнем" (в положении штатной ориентации) днище НКА смонтирована плат­форма с антенно-фидерными устройствами и панелью уголковых отражателей; на "верхнем" - топливные баки и штанга магнитометра. На боковой поверхности термоконтейнера закреп­лены два привода системы одноосной ориентации солнечных батарей, два раскрывающихся на орбите радиатора системы терморегулирования, два блока двигателей и датчики ориента­ции. Питание всех подсистем производится от солнечных батарей, ширина которых в рас­крытом виде составляет 7,230 м. Общая масса составляет 1415 (1487) кг.

В число систем НКА входят: бортовые навигационный передатчик (БНП), хронизатор (БХ) ("часы"), управляющий комплекс (БУК), средства заправки и обеспечения парамет­ров среды в термоконтейнере; системы ориентации и стабилизации (СО), коррекции, элек­тропитания (СЭП), терморегулирования (СТР); элементы конструкции и кабельная сеть.

Время активного существования на орбите составляет 3 (5) лет. Расчеты этого по­казателя по данным дают ~3,5 года.

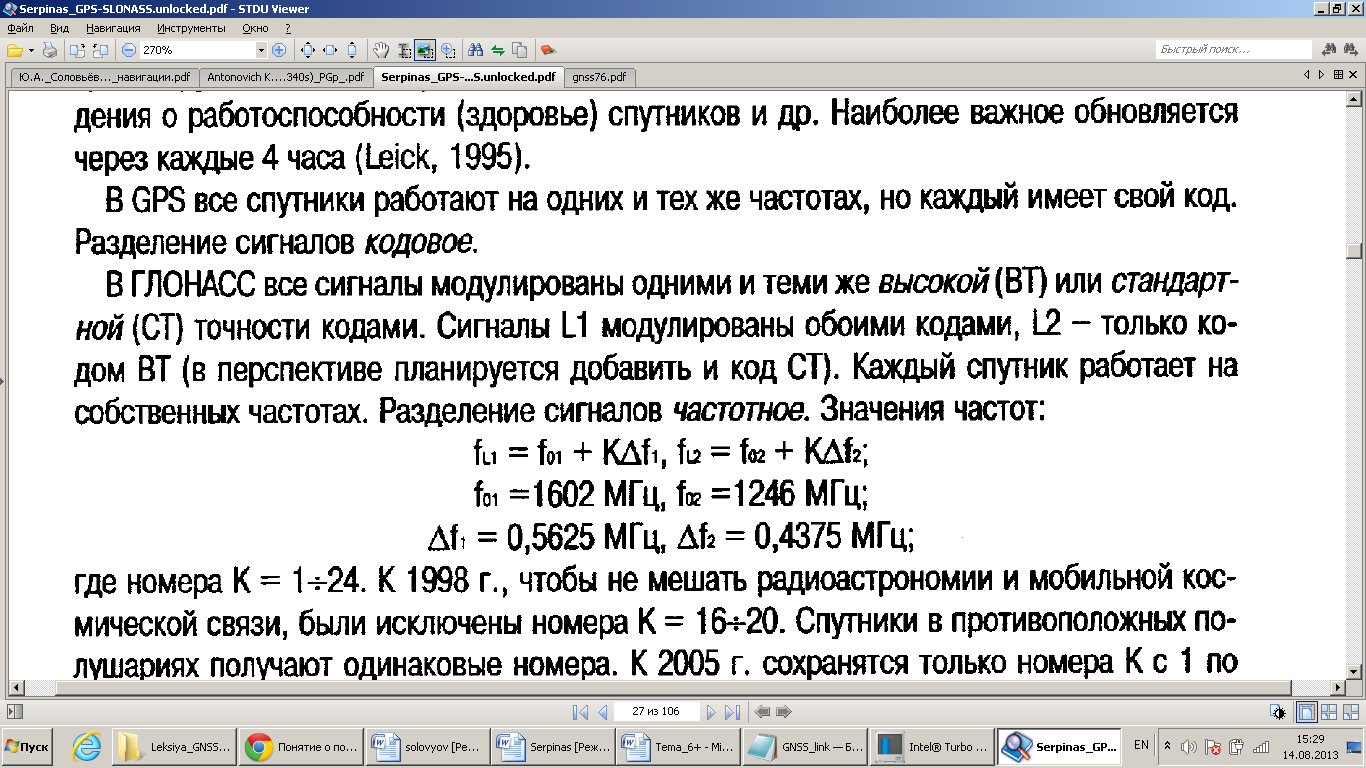


Аппаратура НКА предназначена для выполнения следующих основных функций:

* излучения высокостабильных навигационных сигналов стандартной и высокой точно­сти (СТ и ВТ соответственно) в дециметровом диапазоне волн без преднамеренного ухудшения характеристик;
* приема, хранения, формирования и передачи навигационной информации (данных);
* формирования, оцифровки, хранения и передачи сигналов времени;
* ретрансляции или излучения сигналов для радиоконтроля орбиты спутника и опреде­ления поправок к бортовой шкале времени;
* приема, квитирования (подтверждения), дешифровки и отработки разовых команд;
* приема, запоминания и отработки программ управления режимами функционирования спутника на орбите;
* формирования телеметрических данных о состоянии бортовой аппаратуры и передачи их в наземный комплекс управления (НКУ);
* приема и обработки кодов коррекции и фазирования бортовой шкалы времени;
* выработки и передачи сигналов "Вызов НКУ" при сбое или выходе важных контроли­руемых параметров за пределы нормы;
* анализа и контроля состояния бортовой аппаратуры (совместно с НКУ) и выработки управляющих команд, а также сигналов "исправности" (целостности).

**Структура навигационных радиосигналов**

В ГЛОНАСС все сигналы модулированы одними и теми же высокой (ВТ) или стандарт­ной (СТ) точности кодами. Сигналы L1 модулированы обоими кодами, L2 - только ко­дом ВТ (в перспективе планируется добавить и код СТ). Каждый спутник работает на собственных частотах. Разделение сигналов частотное. Значения частот:



где номера К = 1÷24. К 1998 г., чтобы не мешать радиоастрономии и мобильной кос­мической связи, были исключены номера К=16÷20. Спутники в противоположных по­лушариях получают одинаковые номера. К 2005 г. сохранятся только номера К с 1 по 12, а позже - с -7 по +6, причем К=+5 и К=+6 будут использоваться ограниченное время в служебных целях. На каждом спутнике все сигналы формируют от одного эта­лонного генератора основной частоты = 5,11 МГц. Несущие частоты находятся в со­отношении = 9/7. Длины волн =18,7 см,=24,1 см.

В ГЛОНАСС навигационное сообщение формируется в виде непрерывно следующих строк. Длительность строки 2 с. В первой строке (1,7 с) передаются навигационные данные, во второй (0,3 с) - метка времени. Группа из 15 строк объединена в кадр дли­тельностью 30 с. Пять кадров образуют суперкадр длительностью 2,5 мин. Передавае­мая информация подразделяется на оперативную и неоперативную. Оперативная ин­формация, первые четыре строки в кадре, содержит оцифровку меток времени КА, сдвиг шкалы времени КА относительно времени системы, отличие несущей частоты от номинала, эфемериды КА с геоцентрическими координатами и производными коорди­нат спутника. Неоперативная информация (альманах) включает в себя данные о шкале времени системы, шкале времени каждого спутника, данные об элементах орбит и тех­ническом состоянии всех спутников. В каждом кадре передается полный объем опера­тивной информации и часть альманаха. Полный альманах содержится в суперкадре. Об­новление информации происходит быстро - за 2,5 мин против 12,5 мин в GPS.

Целостность системы. Важная характеристика работоспособности системы. Це­лостность - способность системы обеспечить пользователя своевременными преду­преждениями в случае, когда систему нельзя использовать. Фактически идет речь о ин­формации о состоянии и неисправностях спутников. Меры по обеспечению целостнос­ти принимаются как на спутниках, так и на Земле. В приемник поступают сигналы о при­годности или непригодности КА. Важной мерой является использование избыточного числа спутников и отбраковки измерений, поступающих от неисправных КА. На Земле организуются службы мониторинга, основной задачей которых является оперативное определение характеристик навигационного поля, выявление сбоев и оповещение о них пользователей.

В системе ГЛОНАСС каждый штатный НКА в ОГ постоянно излучает шумоподобные непрерывные навигационные радиосигналы в двух диапазонах частот 1600 МГц (L1) и 1250 МГц (L2). В НАП навигационные измерения в двух диапазонах частот позволяют исключить ионосферные погрешности измерений.

Каждый НКА имеет цезиевый АСЧ, используемый для формирования бортовой шкалы (БШВ) и навигационных радиосигналов 1600 МГц и 1250 МГц.

Шумоподобные навигационные радиосигналы в ОГ НКА различаются несущими час­тотами. Поскольку для взаимноантиподных НКА в орбитальных плоскостях можно приме­нять одинаковые несущие частоты, то для 24 штатных НКА минимально необходимое число несущих частот в каждом диапазоне частот равно 12. Данное утверждение достаточно оче­видно, если иметь в виду наземных потребителей (сухопутных, морских, воздушных), по­скольку в зоне радиовидимости наземного потребителя не могут одновременно находиться взаимноантиподные НКА. Космический потребитель может одновременно "видеть" взаимноантиподные НКА. Однако имеются два благоприятных обстоятельства.

* 1. Из двух взаимноантиподных НКА хотя бы один будет находиться ниже местного горизонта по отношению к космическому потребителю. Практически невозможно применить на космическом объекте одну широконаправленную антенну, способную принимать навига­ционные радиосигналы от всех "видимых" НКА выше и ниже местного горизонта. Поэтому в НАП на космическом объекте применяют: либо одну широконаправленную антенну для приема навигационных радиосигналов от НКА, находящихся выше местного горизонта, либо несколько антенн и несколько приемников для приема навигационных радиосигналов от НКА, находящихся выше и ниже местного горизонта.

В обоих вариантах НАП на космическом объекте будет осуществлять эффективную пространственную селекцию навигационных радиосигналов от взаимноантиподных НКА.

* 1. В НАП в сеансе навигации осуществляется поиск несущей частоты каждого прини­маемого навигационного радиосигнала в пределах узкой полосы (~1 кГц) около прогнози­руемого значения с учетом доплеровского сдвига несущей частоты. Доплеровский сдвиг мо­жет иметь максимальные значения ±5 кГц в НАП на наземных объектах и ±40 кГц в НАП на низкоорбитальных космических объектах. Следовательно, в НАП на космическом объекте осуществляется эффективная доплеровская селекция навигационных радиосигналов от радиовидимых НКА.

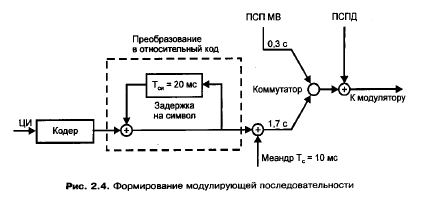
Таким образом, навигационные радиосигналы взаимноантигтодных НКА с одинаковы­ми несущими частотами будут надежно разделены в НАП на космическом объекте за счет пространственной и доплеровской селекции.

Навигационный L1 радиосигнал 1600 МГц - двухкомпонентный. На заданной несущей частоте в радиопередатчике формируются два одинаковых по мощности шумоподобных фазоманипулированных навигационных радиосигнала "в квадратуре" (взаимный сдвиг по фазе на ±90°): узкополосный (стандартной точности, СТ) и широкополосный (высокой точности, ВТ).

Узкополосный навигационный радиосигнал 1600 МГц образуется посредством мани­пуляции фазы несущего колебания на 180° с помощью модулирующей последовательности ПСП1, которая образуется сложением по модулю 2 трех двоичных сигналов (рис. 2.4):

* псевдослучайной последовательности дальномерного кода, передаваемой со скоро­стью 511 кбит/с;
* сигналов цифровой информации (ЦИ) навигационного сообщения, передаваемой со скоростью 50 бит/с;

меандрового колебания, передаваемого со скоростью 100 бит/с.



Псевдослучайная последовательность дальномерного кода (ПСПД) представляет со­бой ПСП максимальной длины регистра сдвига с периодом повторения 1 мс. Она снимается с 7-го разряда 9-разрядного регистра.

Образующий полином этого кода имеет вид Ga(x)=l+x5+x9.

Информации навигационного сообщения формируется в виде непрерывно следующих строк длительностью 2 с. В каждой двухсекундной строке на интервале времени 1,7 с пере­даются 85 двоичных символов ЦИ, длительностью 20 мс и перемноженные на меандр, имеющий длительность символов 10 мс. Метка времени (MB) имеет длительность 0,3 с и передается в конце каждого двухсекундного интервала времени (в конце четных секунд).

Метка времени содержит 30 двоичных символов длительностью 10 мс и представляет собой укороченную на один символ 31-символьную М-последовательность с характеристи­ческим полиномом GB(x)=l+x3+x5.

Границы символов меандра, MB и ЦИ когерентны. В приемнике с помощью меандра осуществляется символьная синхронизация для MB и с ее помощью - строчная и символьная синхронизация ЦИ.

Широкополосный навигационный радиосигнал 1600 МГц образуется посредством ма­нипуляции фазы несущего колебания на 180° периодической двоичной последовательностью ПСП2 с тактовой частотой F2=5,l1МГц. Путем инвертирования ПСП2 передаются двоичные символы ЦИ длительностью 20 мс.

Навигационный L2 радиосигнал 1250 МГц, излучаемый НКА первой модификации, - однокомпонентный широкополосный шумоподобный радиосигнал, образуемый посредством манипуляции фазы несущего колебания на 180° периодической двоичной ПСП2 (F2=5,11 МГц) без инвертирования, т.е. без передачи ЦИ. Навигационный L2 радиосигнал 1250 МГц, излучаемый НКА второй модификации, будет содержать два одинаковых по мощности шумоподобных радиосигнала 1250 МГц в квадратуре: 1) узкополосный навигационный радио­сигнал 1250 МГц с ПСП1 (F1=0,511 МГц, Т1=1 мс); 2) широкополосный навигационный ра­диосигнал 1250 МГц с ПСП2 (F2=5,l1 МГц) без ЦИ.

Поскольку частота инвертирования ПСП много меньше ее тактовой частоты, то шири­на основного "лепестка" огибающей спектра мощности шумоподобного фазоманипулированного навигационного радиосигнала равна двойному значению тактовой частоты ПСП. Следовательно, ширина основного "лепестка" огибающей спектра мощности узкополосного навигационного радиосигнала равна 1,022 МГц, широкополосного - 10,22 МГц.

При проектировании СРНС ГЛОНАСС была выработана следующая "сетка" номи­нальных значений несущих частот для навигационных радиосигналов в двух диапазонах час­тот - верхнем (L1) 1600 МГц (индекс 1) и нижнем (L2) 1250 МГц (индекс 2):



Где, к – условный порядковый номер пары несущих частот для навигационных радио­сигналов 1600 МГц и 1250 МГц.

Радиопередатчики навигационных радиосигналов в НКА первой модификации излуча­ют навигационные радиосигналы на переключаемых несущих частотах с номерами к= 1,..., 24.

Приведем значения крайних несущих частот навигационных радиосигналов:



Рабочие спектры навигационных радиосигналов на несущих частотах с номерами 24 занимают полосы частот: а) узкополосные навигационные радиосигналы 1602,0...1616,0 МГц; б) широкополосные навигационные радиосигналы 1597,4...1620,6 МГц, 1241,3...1261,6 МГц.

В диапазоне частот 1600 МГц и 1250 МГц согласно Регламенту радиосвязи выделе­ны полосы частот: а) для спутниковой радиосвязи (Космос - Земля) 1559,0...1610,0 МГц; 1215,0... 1260,0 МГц; б) для воздушной радионавигации 1559,0... 1626,5 МГц.

ВАКР-87 распределил полосу частот 1610,6...1613,8 МГц для радиоастрономии на пер­вичной основе. Чтобы снизить и в дальнейшем полностью исключить радиопомехи радиоте­лескопам в диапазоне частот 1610,6...1613,8 МГц со стороны навигационных радиосигналов системы ГЛОНАСС, в 1993 г. принято решение, согласно которому для 24-х штатных НКА в системе ГЛОНАСС будут использоваться следующие номера (к) несущих частот: 1) до 1998 г. 

На первом этапе (до 1998 г.) в радиоастрономической полосе практически нет спек­тров узкополосных навигационных радиосигналов 1600 МГц, а к 2005 г. из радиоастрономи­ческой полосы будут выведены и спектры широкополосных навигационных радиосигналов. Третий этап будет реализован за счет применения НКА второй модификации, в которой пе­редатчики навигационных радиосигналов могут излучать навигационные радиосигналы на любой паре переключаемых несущих частот с номерами к= -7,0,...,+12.

Широкополосные навигационные радиосигналы в системе ГЛОНАСС предназначены для использования санкционированными потребителями и имеют защиту от несанкциониро­ванного использования.

Узкополосный навигационный радиосигнал в системе ГЛОНАСС является открытым и предназначен для гражданских потребителей. Но в отличие от системы GPS параметры этого сигнала не искажаются с помощью процедуры селективного доступа, и точность нави­гации для потребителей преднамеренно не ухудшается.

Навигационное сообщение

Для навигационных радиосигналов цифровая информация (ЦИ) навигационного со­общения формируется на борту НКА на основе данных, передаваемых от НКУ системы на борт НКА с помощью радиотехнических средств. Передаваемая в навигационных радиосиг­налах ЦИ структурирована в виде строк, кадров и суперкадров. В узкополосном навигацион­ном радиосигнале 1600 МГц строка ЦИ имеет длительность 2 с (вместе с MB) и содержит 85 двоичных символов длительностью по 20 мс, передаваемых в относительном коде. Первый символ каждой строки является начальным ("холостым") для относительного кода. Послед­ние восемь символов в каждой строке являются проверочными символами кода Хемминга, позволяющие исправлять одиночный ошибочный символ и обнаруживать два ошибочных символа в строке. Кадр содержит 15 строк (30 с), суперкадр 5 кадров (2,5 мин).

В составе каждого кадра передается полный объем оперативной ЦИ и часть альманаха системы. Полный альманах передается в пределах суперкадра.

Оперативная ЦИ в кадре относится к НКА, излучающему навигационный радиосиг­нал, и содержит: признаки достоверности ЦИ в кадре; время начала кадра; эфемеридную информацию - координаты и производные координат НКА в прямоугольной геоцентриче­ской системе координат на момент времени t0; частотно-временные поправки (ЧВП) на мо­мент времени t0 в виде относительной поправки к несущей частоте навигационного радио­сигнала и поправки к БШВ НКА; время t0.

Время t0, к которому "привязаны" ЭИ и ЧВП, кратно 30 мин от начала суток.

Альманах системы содержит: время, к которому относится альманах; параметры орби­ты, номер пары несущих частот и поправку к БШВ для каждого штатного НКА в ОГ (24 НКА); поправку к ШВ системы относительно ШВ страны, погрешность поправки не более 1 мкс.

Альманах системы необходим в НАП для планирования сеанса навигации (выбор оп­тимального созвездия НКА) и для приема навигационных радиосигналов в системе (прогноз доплеровского сдвига несущей частоты). Оперативная ЦИ необходима в НАП в сеансе нави­гации, так как ЧВП вносятся в результаты измерений, а ЭИ используется при определении координат и вектора скорости потребителя.

Узкополосные навигационные радиосигналы в системе ГЛОНАСС обеспечивают бо­лее оперативный прием (обновление) альманаха за счет более короткой длительности супер­кадров (2,5 мин) по сравнению с системой GPS (12,5 мин).

Радионавигационное поле

Навигационные радиосигналы, излучаемые штатными НКА, образуют радионавигаци­онное поле в околоземном пространстве.

В СРНС ГЛОНАСС каждый штатный НКА излучает навигационные радиосигналы 1600 МГц и 1250 МГц в сторону Земли с помощью передающих антенн, рабочая часть диа­граммы направленности (ДН) которых имеет ширину  и "освещает" диск Земли с избытком до высоты ho над поверхностью.

Рабочую часть ДН можно представить в виде конусного радиолуча с углом при вершине. Очевидно, , где г=6400 км - радиус Земли; Н=19100 км - вы­сота орбиты НКА.

При 

При полной ОГ (24 штатных НКА) радионавигационное поле на высотах км непрерывно в пространстве, т.е. потребитель в любой точке этого пространства "освеща­ется" радиолучами не менее чем от четырех НКА, образующих по отношению к нему удов­летворительное по геометрическому фактору созвездие для оперативного автономного опре­деления координат и вектора скорости.

На высотах радионавигационное поле становится дискретным в пространстве. Космические объекты на высотах "освещены" радиолучами от необходимого для оперативной навигации созвездия (не менее четырех НКА, включая НКА ниже местного го­ризонта) не везде, а только при нахождении в определенных областях пространства.

Космические объекты на высотах h>H (например, на геостационарной орбите) будут "ос­вещены" на некоторых участках своей орбиты радиолучом от одного или двух НКА (при полной ОГ), и НАЛ может не оперативно определить орбиту космического объекта на основе обработки результатов приема навигационных радиосигналов на "освещенных" участках орбиты.

Ограничимся рассмотрением непрерывного радионавигационного поля  Основ­ной характеристикой радионавигационного поля для наземного потребителя являются мощ­ности навигационного радиосигнала от околозенитного и пригоризонтного НKА на выходе "стандартной" приемной антенны (без учета отражений от поверхности Земли):



где Рп - мощность излучения передатчика; - коэффициент направленности передающей антенны (с учетом потерь в АФУ) в направлении  на приемную антенну; - коэффици­ент направленности "стандартной" приемной антенны в направлении  на передающую ан­тенну; - длина волны несущего колебания радиосигнала; R - дальность от приемной антен­ны до передающей антенны.

В системе ГЛОНАСС передающие антенны для навигационных радиосигналов на НКА имеют круговую правую поляризацию излучения.

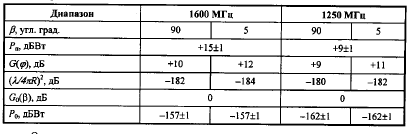
Коэффициент направленности передающих антенн в рабочем секторе направле­ний ф<19 относительно оси антенны составляет



В качестве "стандартной" приемной антенны удобно рассматривать изотропную при­емную антенну с круговой поляризацией, 

Дальность R от приемной антенны, размещенной на поверхности Земли, до околозе­нитного НКА  составит , до пригоризонтного НКА составит 

Бюджет мощности Р0 узкополосных навигационных радиосигналов на выходе "стан­дартной" приемной антенны имеет вид:



Отметим, что мощность навигационного радиосигнала, принимаемого наземным по­требителем с помощью изотропной антенны, одинакова для околозенитного и пригоризонт­ного НКА.

**Средства запуска на орбиту**

Для запуска НКА ГЛОНАСС используется ракета-носитель "Протон-К". Последний запуск ракеты-носителя 8К82К "Протон-К" серии 385-02 с космической головной частью в составе разгонного блока (РБ) 11С861 №92л и трех искусственных спутников ГЛОНАСС был осуществлен с 39-й (левой) пусковой установки 200-й площадки космодрома Байконур боевыми расчетами РВСН МО РФ 30.12.98.

Длительность выведения на начальную орбиту составляет обычно 4 ч 10 мин. После вы­ведения по команде, выдаваемой разгонным блоком непосредственно после выключения дви­гательной установки (ДУ), включается электропитание некоммутируемых шин питания и де­журные схемы НКА. Через 15 с после этого система управления РБ выдает команду на отделе­ние спутников. Эта операция осуществляется для трех НКА одновременно с их закруткой со скоростью не более 27%. Далее проводится ориентация НКА, включение их систем и т.д. Та­кая начальная фаза функционирования может иметь продолжительность от 5 до 12 витков.

Запуск каждой тройки НКА ГЛОНАСС всегда осуществляется в одну из рабочих по­зиций, в которой остается один из запускаемых НКА. Два других разводятся в соседние ра­бочие точки. При этом возможен предварительный перевод уже работающего НКА в новую рабочую точку. Перевод каждого спутника в заданную точку проводится с помощью коррек­тирующей двигательной установки (КДУ), состоящей из двух симметричных блоков.

Приведение НКА в заданную орбитальную позицию осуществляется в несколько эта­пов, включающих определение параметров орбиты выведения и формирование программы приведения, выдачу импульсов коррекции для обеспечения требуемой скорости смещения спутника относительно исходной орбиты, пассивное движение НКА по орбите со смещением по аргументу широты в заданном направлении, выдачу импульсов, обеспечивающих тормо­жение движения спутника, и приведение его в заданную позицию. Время, затрачиваемое на эти операции, составляет от одной недели до месяца. После завершения всей программы приведения НКА в заданное положение с требуемой точностью производится окончательное уточнение параметров орбиты, высокоточная синхронизация БШВ, расчет временных попра­вок и закладка их на борт. После этого НКА может использоваться 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 со­ставляет 11 ч 15 мин 44 с ±5 с); по аргументу широты 1°; по эксцентриситету ±0,01; по на­клонению орбиты ± 0,3°.

**Наземный комплекс управления**

Наземный комплекс управления (НКУ) (рис.2.5) орбитальной группировкой НКА вы­полняет четыре группы задач:

1. эфемеридное и частотно-временное обеспечение НКА;
2. мониторинг радионавигационного поля;
3. радиотелеметрический мониторинг НКА;
4. командное и программное радиоуправление функционированием НКА.



НКУ содержит следующие взаимосвязанные стационарные элементы: центр управления системой (ЦУС); центральный синхронизатор (ЦС); командную станцию слеже­ния (КСС); контрольные станции (КС); систему контроля фаз (СКФ); квантово-оптические станции (КОС); аппаратуру контроля поля (АКП).

Указанные элементы размещены на территории России вблизи следующих географи­ческих пунктов (городов): Санкт-Петербург (КСС-9); Краснознаменск Московской области (ЦУС); Щелково Московской области (КС, СКФ, ЦС, АКП); Воркута (КСС-18); Енисейск (КСС-4); Улан-Удэ (КСС-13); Якутск (КСС-17); Комсомольск-на-Амуре (КОС, КСС-20, АКП); Петропавловск-Камчатский (КСС-6). НКУ выполняет следующие функции:

* проведение траекторных измерений для определения, прогнозирования и непрерывно­го уточнения параметров орбит всех спутников;
* временные измерения для определения расхождения бортовых шкал времени (БШВ) всех НКА с системной шкалой времени системы, синхронизация БШВ каждого НКА с временной шкалой ЦС и службы единого времени (СЕВ) путем фазирования и коррекции БШВ;
* формирование массива служебной информации (навигационных сообщений), содер­жащего спрогнозированные эфемериды, альманах и поправки к БШВ каждого НКА и другие данные, необходимые для формирования навигационных кадров;
* передача (закладка) массива служебной информации в память бортовой ЭВМ каждого НКА и контроль за его прохождением;
* контроль по телеметрическим каналам за работой бортовых систем НКА и диагности­ка их состояния;
* контроль информации в навигационных сообщениях НКА, прием сигнала вызова НКУ;
* управление полетом спутников и работой их бортовых систем путем выдачи команд управления и передачи на борт прохождения этих данных;
* контроль характеристик навигационного поля;
* определения сдвига фазы дальномерного навигационного сигнала НКА по отношению к фазе сигнала ЦС (Центральный синхронизатор);
* планирование работы всех технических средств НКУ, автоматизированная обработка и передача данных между элементами НКУ.

Остановимся на первых двух группах задач, которые непосредственно связаны с обес­печением определенного уровня точности навигационных радиосигналов в системе ГЛОНАСС.

Эфемеридное обеспечение (ЭО) НКА означает: определение и прогноз параметров дви­жения НКА, и "закладку" на борт НКА ЭИ для кадров ЦИ в навигационных радиосигналах.

Частотно-временное обеспечение (ЧВО) НКА означает определение и прогноз БШВ относительно ШВ системы и "закладку" на борт НКА частотно-временных поправок (ЧВП) к БШВ, помещаемых в кадры ЦИ в навигационных радиосигналах.

В наземных комплексах управления системы ГЛОНАСС, в отличие от системы GPS, подсистемы ЭО и ЧВО построены раздельно.

Определение и прогноз параметров движения НКА осуществляет Баллистический центр (БЦ) системы на основе результатов траекторных измерений дальности и радиальной скорости НКА, поступающих от сети наземных радиотехнических "запросных" командно- измерительных станций (КИС). В НКУ используются не менее трех КИС, расположенных на территории России (западная, центральная, восточная) на географической широте в пределах 50...60 с. ш. КИС на географической широте не менее 50 с. ш. "наблюдает" каждый НКА при углах возвышения не менее 5° в течение сеансов длительностью 1...5 ч на каждом витке ор­биты НКА.

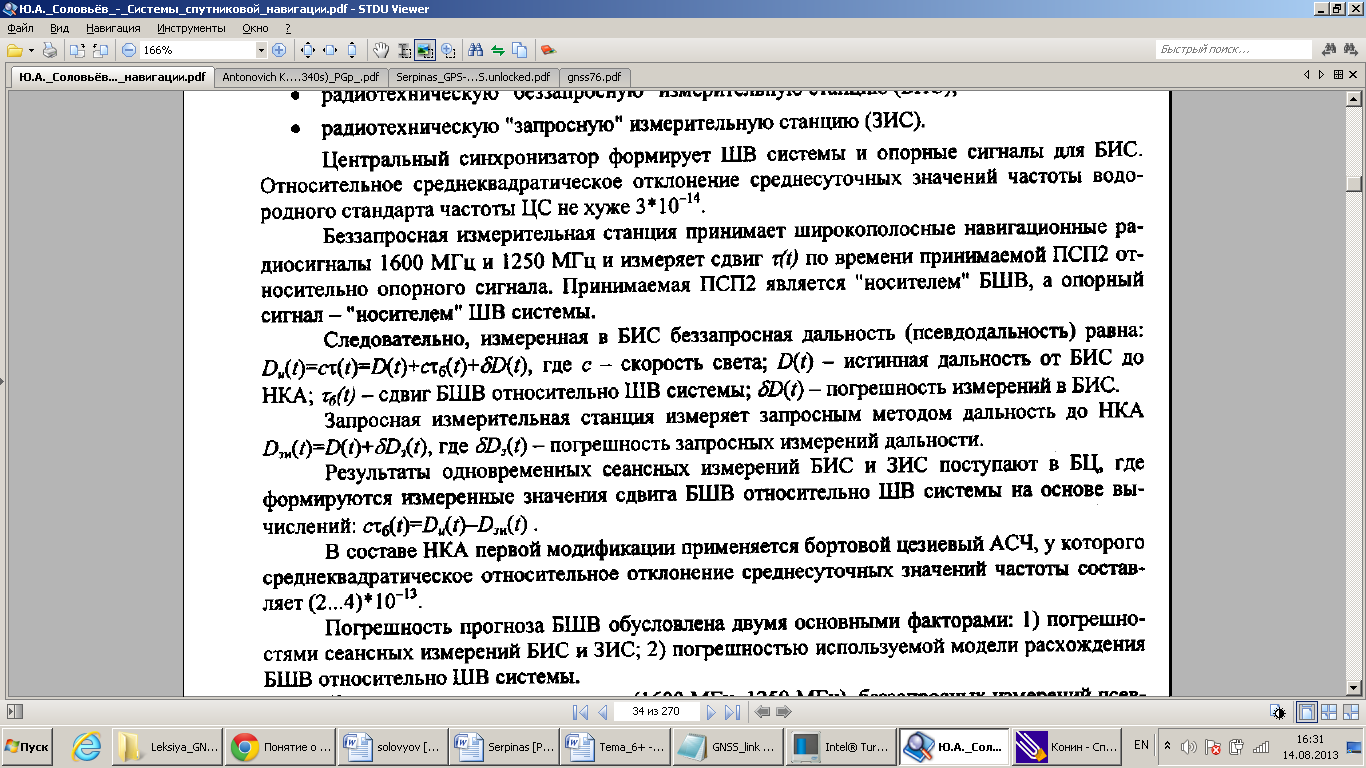
Сформированная в БЦ прогнозируемая ЭИ "закладывается" на борт НКА через сеть КИС ежесуточно. Для НКА первой модификации на худших участках орбиты, где макси­мальны немоделируемые возмущения, действующие на НКА, погрешности (СКО) ЭИ со­ставляют по высоте 5 м, вдоль орбиты 20 м, по бинормали 10 м. На лучших участках орбиты погрешности ЭИ приблизительно в два раза меньше по высоте и вдоль орбиты, и следовательно погрешности ЭИ, содержащейся в кадрах ЦИ, в среднем составляют (для НКА первой модификации) 4,15 м и 10 м соответственно.

Подсистема ЧВО (Частотно-временное обеспечение) содержит в своем составе следующие совместно расположенные средства:

* наземный Центральный синхронизатор (ЦС) на основе водородного атомного стандар­та частоты;
* радиотехническую "беззапросную" измерительную станцию (БИС);
* радиотехническую "запросную" измерительную станцию (ЗИС).

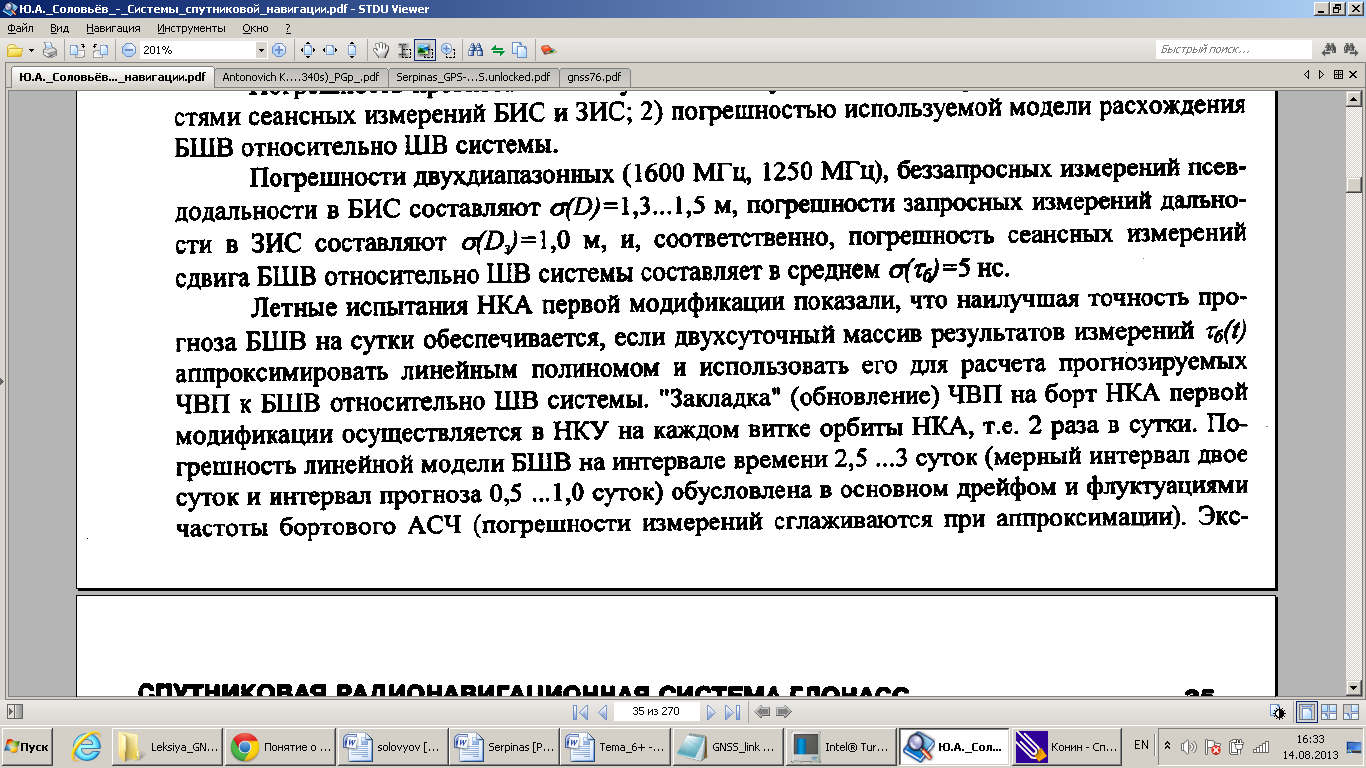
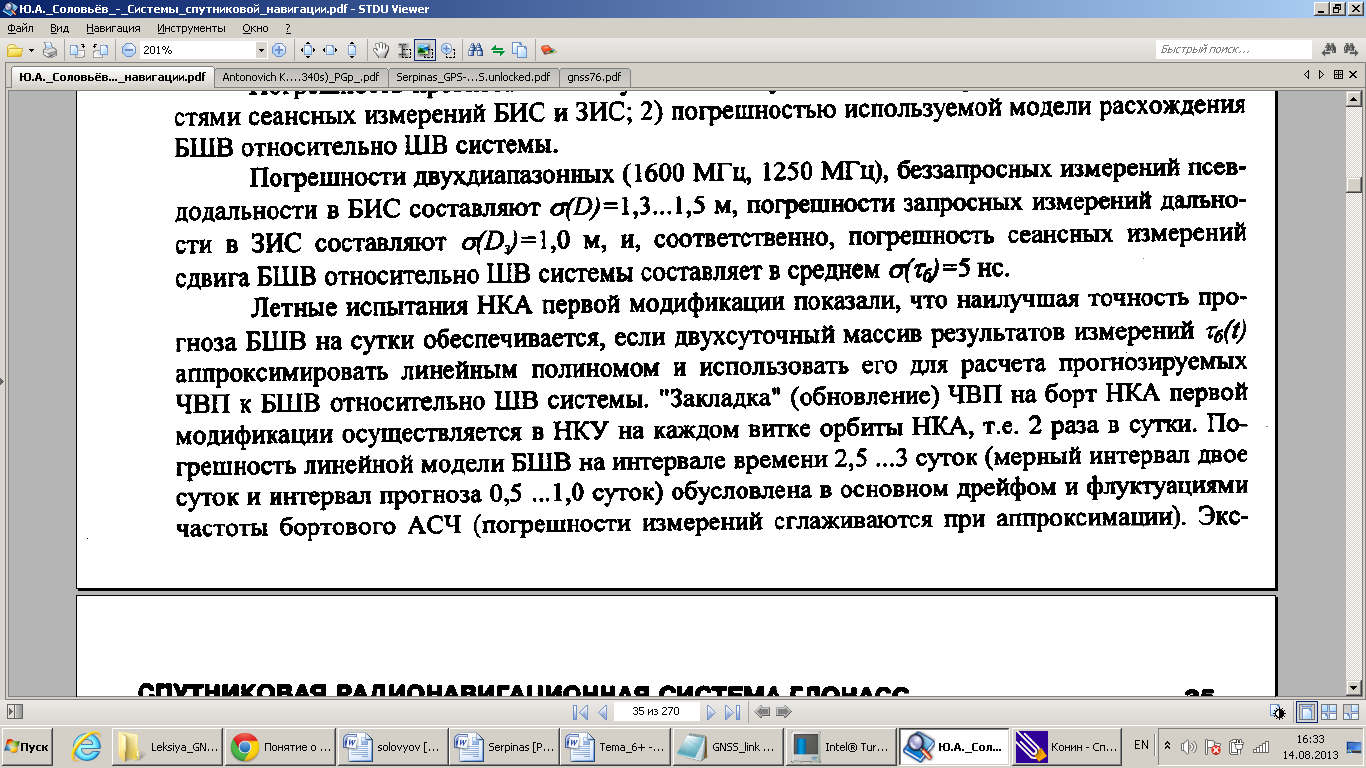
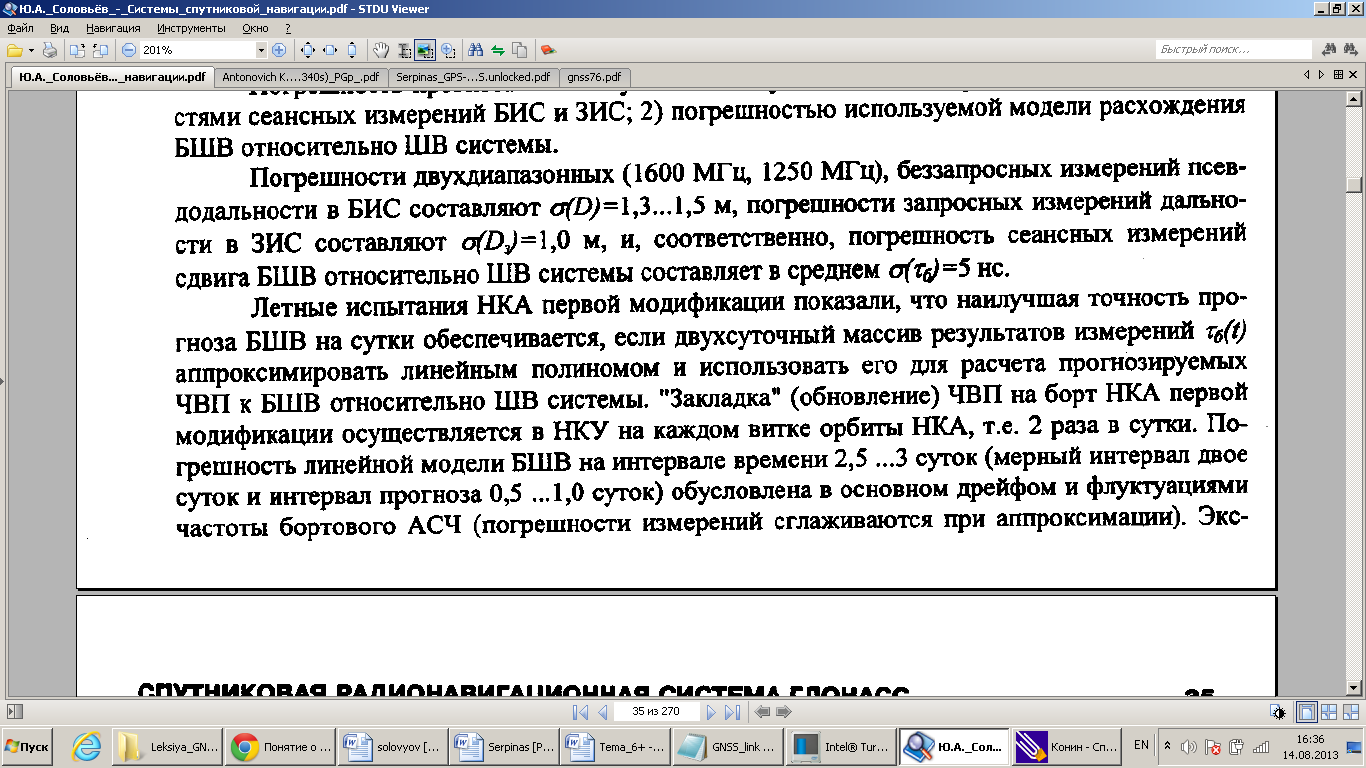
Центральный синхронизатор формирует ШВ системы и опорные сигналы для БИС. Относительное среднеквадратическое отклонение среднесуточных значений частоты водо­родного стандарта частоты ЦС не хуже 3\*1014.

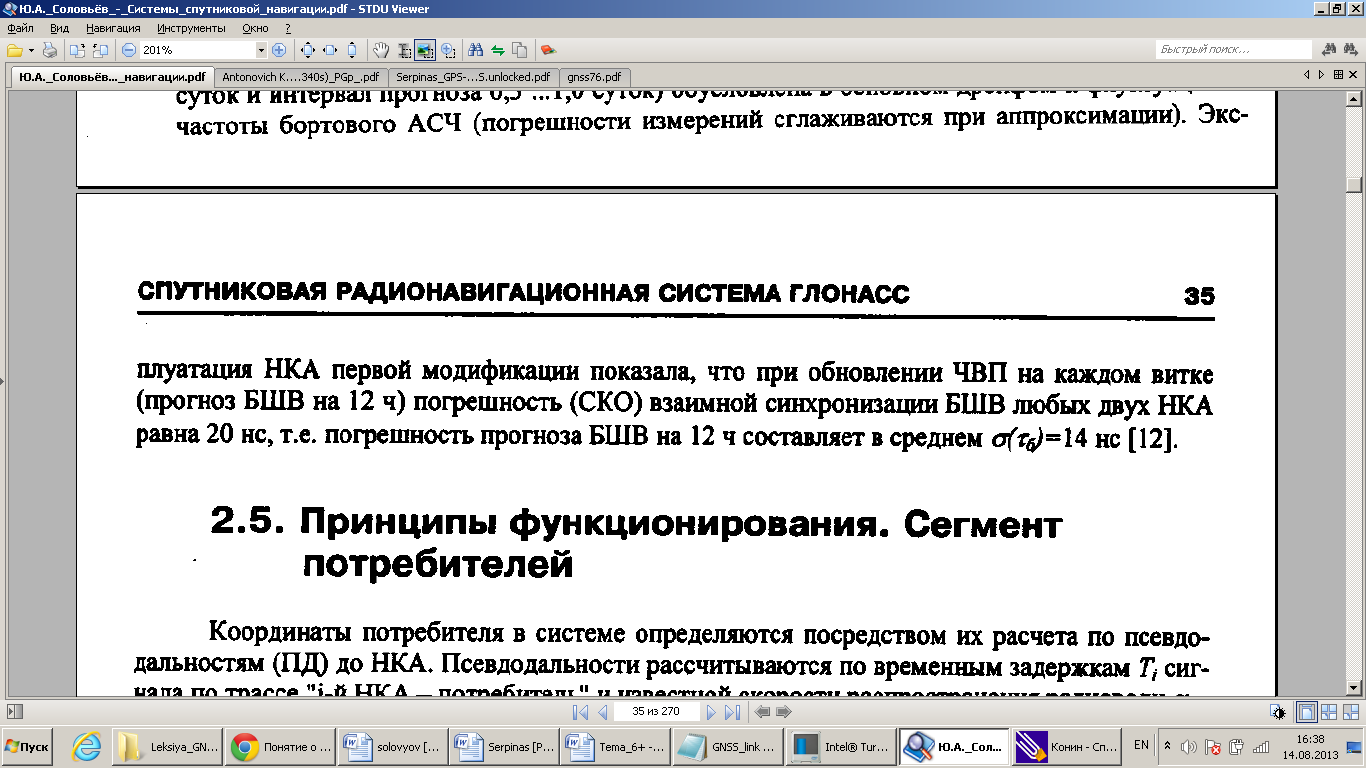
Беззапросная измерительная станция принимает широкополосные навигационные ра­диосигналы 1600 МГц и 1250 МГц и измеряет сдвиг  по времени принимаемой ПСП2 от­носительно опорного сигнала. Принимаемая ПСП2 является "носителем" БШВ, а опорный сигнал - "носителем" ШВ системы.



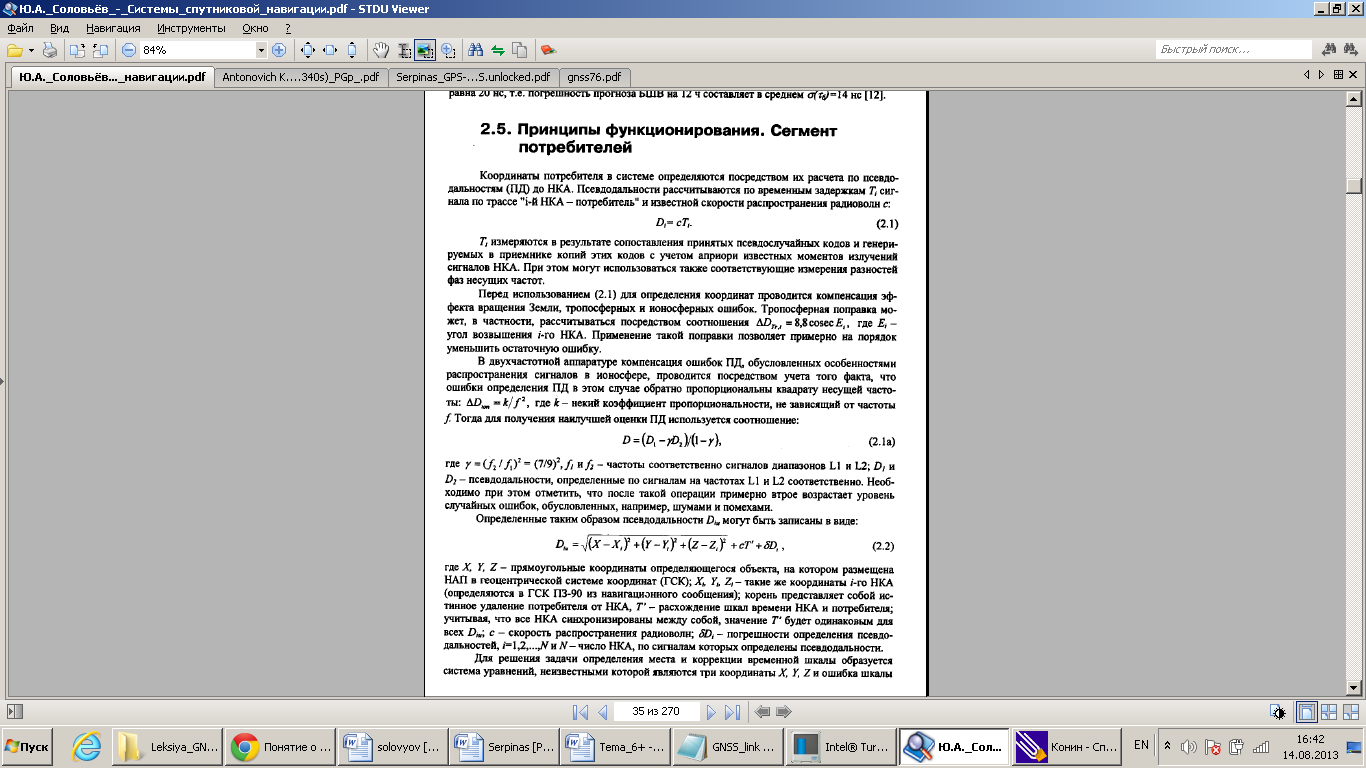
В составе НКА первой модификации применяется бортовой цезиевый АСЧ (атомного стандар­та частоты), у которого среднеквадратическое относительное отклонение среднесуточных значений частоты состав­ляет (2... 4)\* 10-13.

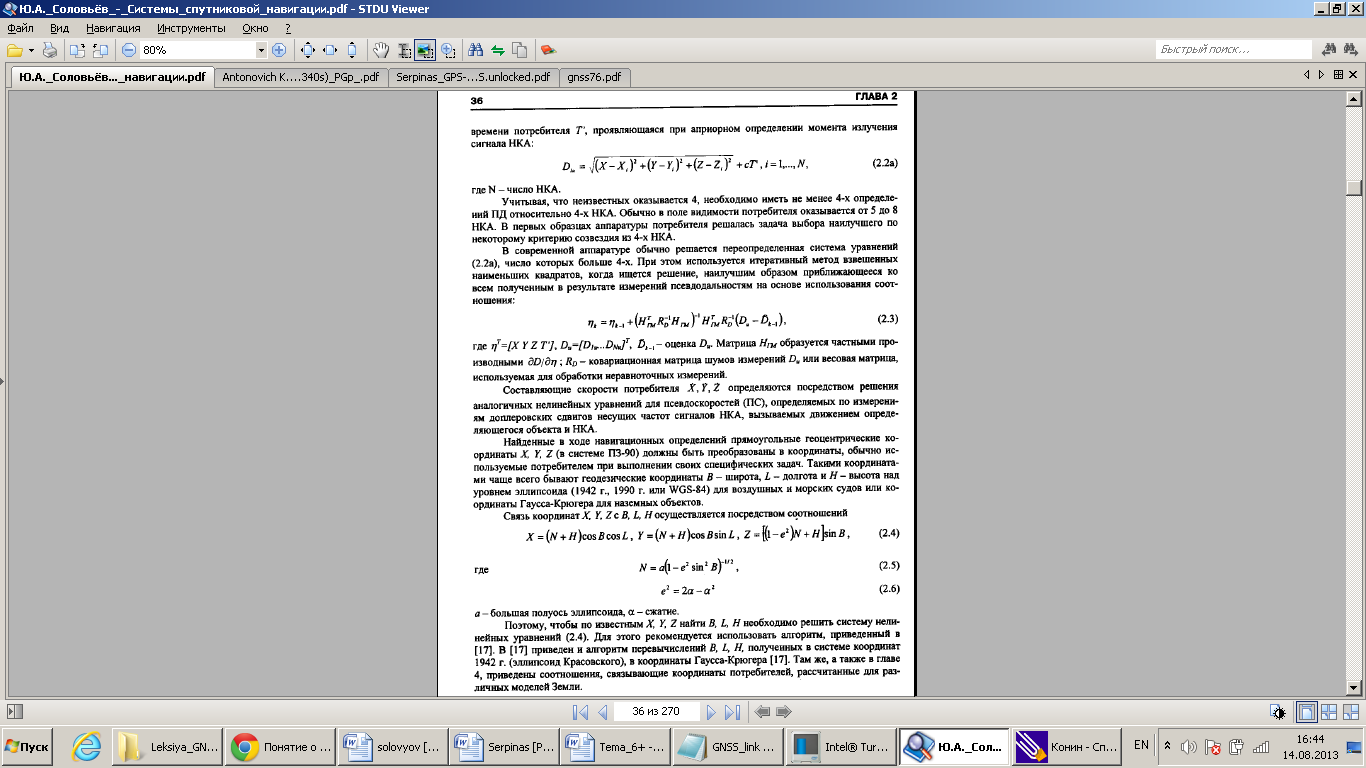
Погрешность прогноза БШВ обусловлена двумя основными факторами: 1) погрешно­стями сеансных измерений БИС и ЗИС; 2) погрешностью используемой модели расхождения БШВ относительно ШВ системы.

Погрешности двухдиапазонных (1600 МГц, 1250 МГц), беззапросных измерений псев­додальности в БИС составляют  , погрешности запросных измерений дально­сти в ЗИС составляют  , и, соответственно, погрешность сеансных измерений сдвига БШВ относительно ШВ системы составляет в среднем 

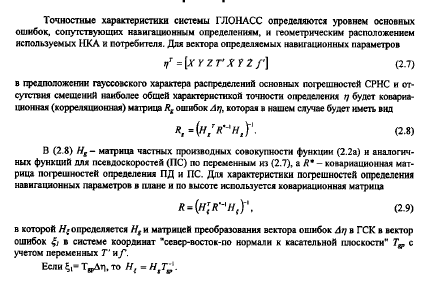
Летные испытания НКА первой модификации показали, что наилучшая точность про­гноза БШВ на сутки обеспечивается, если двухсуточный массив результатов измерений  аппроксимировать линейным полиномом и использовать его для расчета прогнозируемых ЧВП к БШВ относительно ШВ системы. "Закладка" (обновление) ЧИП на борт НКА первой модификации осуществляется в НКУ на каждом витке орбиты НКА, т.е. 2 раза в сутки. По­грешность линейной модели БШВ на интервале времени 2,5 ...3 суток (мерный интервал двое суток и интервал прогноза 0,5 ...1,0 суток) обусловлена в основном дрейфом и флуктуациями частоты бортового АСЧ (погрешности измерений сглаживаются при аппроксимации). Экс­плуатация НКА первой модификации показала, что при обновлении ЧВП на каждом витке (прогноз БШВ на 12 ч) погрешность (СКО) взаимной синхронизации БШВ любых двух НКА равна 20 нс, т.е. погрешность прогноза БШВ на 12 ч составляет в среднем  .

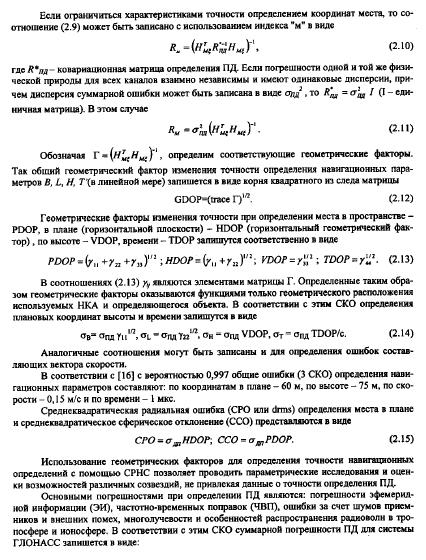
**Принципы функционирования. Сегмент потребителей**

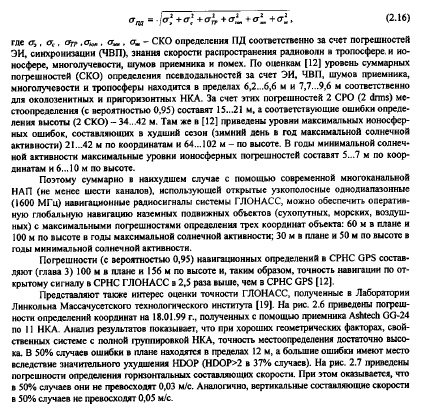




Точностные характеристики



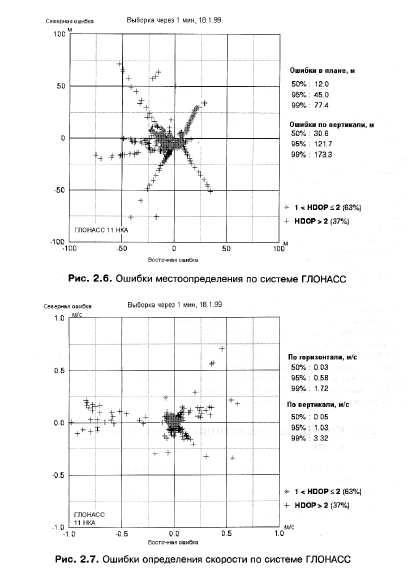


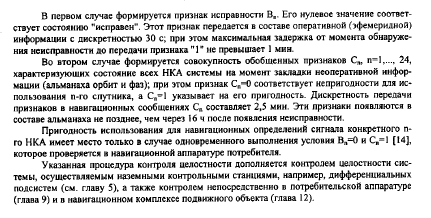


**Контроль целостности радионавигационного поля**

В системе ГЛОНАСС контроль целостности радионавигационного поля осуществля­ется посредством:

* непрерывного автономного самоконтроля работы основных бортовых подсистем НКА, влияющих на качество излучаемых радиосигналов;
* внешнего контроля сигналов НКА с помощью аппаратуры контроля навигационного поля (АКНП), входящей в состав НКУ.

****

****