

Антипенко Александр Анатольевич
Дементьев Александр Федорович
Дугин Николай Александрович
Нечаева Мария Борисовна
Плискин Дмитрий Валерьевич
Тихомиров Юрий Васильевич
Чагунин Александр Константинович

Препринт № 555

**Подготовка РСДБ НИРФИ
к работе по сигналам космических аппаратов
СРНС ГЛОНАСС и GPS**

Учебное пособие

ПОДГОТОВКА РСДБ НИРФИ
К РАБОТЕ ПО СИГНАЛАМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СРНС
ГЛОНАСС И GPS

**Антипенко А.А.
Дементьев А.Ф.
Дугин Н.А.
Нечаева М.Б.
Плискин Д.В.
Тихомиров Ю.В.
Чагунин А.К.**

Подписано в печать 22.12.2014 г. Формат 60×90/16.

Бумага писчая. Объем 2.5 усл.п.л.

Тираж 50. Заказ 5635

Отпечатано в ФГБНУ НИРФИ
603950, г. Нижний Новгород, ул. Б. Печерская, 25/12а

Нижний Новгород

2015

**Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Дугин Н.А.,
Нечаева М.Б., Плискин Д.В., Тихомиров Ю.В.,
Чагунин А.К.**
**Подготовка РСДБ НИРФИ к работе по сигналам
космических аппаратов СРНС ГЛОНАСС и GPS //**
Препринт № 555. – Нижний Новгород: ФГБНУ НИРФИ,
2015. – с.44.

Рассматривается процесс подготовки и проведения экспериментов на радиоинтерферометре со сверхдлинной базой (РСДБ) по приёму квази-шумовых сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС и GPS (НАВСТАР). Эксперименты осуществляются в режиме радио-интерферометрии с независимым приёмом на инструментах, созданных на базе нескольких антенн в РАО НИРФИ, в Нижнем Новгороде и двух пунктах международной сети. Процедура проведения наблюдений и первичной обработки данных основана на опыте и результатах первых работ РСДБ НИРФИ в частотном диапазоне 1,6 ГГц.

Приводится схема расположения антенн РСДБ сети НИРФИ и их характеристики. Описана процедура составления программы эксперимента по наблюдению навигационных космических аппаратов, алгоритмы расчета предварительных значений основных параметров и некоторые особенности корреляционной обработки сигналов НКА. Представлен краткий анализ структуры навигационных сообщений НКА СРНС, которая оказывает влияние на характер принимаемых РСДБ-комплексом сигналов и определяет особенности корреляционной обработки данных. Приводится список НКА группировки ГЛОНАСС, их частоты, а также номера НКА обеих СРНС в различных каталогах.

Рассмотрена схема преобразования частот в диапазоне 1,6 ГГц на пункте РТ-70 в Евпатории и необходимые параметры аппаратуры для согласования работы приёмных систем НИРФИ и РТ-70. Приводятся основные данные о радиотелескопе РТ-32 на пункте «Ирбене» Вентспилского международного радиоастрономического центра (Латвия).

© Научно-исследовательский радиофизический институт

Введение	3
1. Анализ сигналов навигационных аппаратов ГЛОНАСС и GPS Н.....	4
1.1. Структура навигационных радиосигналов системы ГЛОНАСС	5
1.2. Структура навигационных радиосигналов системы GPS	11
2. Структура РСДБ-сети НИРФИ и антенные системы	13
2.1. РАО «Старая Пустынь»	14
2.2. Антенна РТ-8 пункта «Васильсурск»	15
2.3. Антенна РТ-2 пункта «ННГУ».....	16
2.4. Радиотелескоп РТ-32 «Ирбене».....	17
2.5. Радиотелескоп РТ-70 «Евпатория» (по сост. на 2011 г.).....	17
2.6. Рупорная антенна НИРФИ	19
3. Составление программы эксперимента по наблюдению навигационных космических аппаратов	20
3.1. Программа heav_sat_all_cu.mcd (расчет целеуказаний)	25
3.2. Программа satell_AD_track.mcd: расчет целеуказаний для антенны РТ-70 «Евпатория».....	26
3.3. Программа vent_heav.exe: расчет целеуказаний для антенны РТ-32 «Ирбене»	27
4. Подготовка приёмного комплекса	28
4.1. Система синхронизации.....	28
4.2. Приёмная аппаратура	37
4.3. Система регистрации	42
4.4. Связь между пунктами (состояние на 2012 год).....	45
5. Обработка экспериментальных данных.....	45
5.1. Алгоритмы расчета предварительных значений основных параметров	46
5.1.1. Модель временной зависимости задержки.....	47
5.1.2. Расчет фазы корректирующего сигнала	48
5.1.3. Программа TRAKSTAR.....	49
5.2. Расчет параметров для корреляционной обработки сигналов НКА	51
Литература	53

7. <http://www.glonass-center.ru>. Информационно-аналитический центр контроля ГЛОНАСС и GPS.
8. Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. О возможности калибровки радиointерферометра с независимым приёмом по сигналам навигационных космических аппаратов //IV Всероссийская конференция «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение» (КВНО-2011). С.-Петербург, ИПА РАН, 10-14 октября 2011 г. Тезисы докладов. С. 120.
9. Heavensat 2.3.0a. <http://www.heavensat.ru>
10. <http://celestrak.com/NORAD/documentation/tle-fmt.asp>
11. <http://celestrak.com/software/tskelso-sw.asp>

Введение

Радиointерферометр НИРФИ независимого приёма первоначально имел два приёмных пункта Зименки и Старая Пустынь, разнесенных на 69 км и имеющих антенны диаметром 15 и 14 м, оснащённые трёхчастотными облучающими системами на 327, 610 и 1665 МГц. На радиointерферометре «Зименки-Старая Пустынь» были проведены первые в отечественной практике наблюдения навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС и GPS с использованием специализированных приёмников, имеющих возможность перестройки частотных поддиапазонов на 1665 ± 20 МГц (радиоастрономическая частота) и на 1565-1615 МГц (частотный диапазон НКА СРНС) [1-4].

Дальнейшим шагом в развитии исследований по применению РСДБ для определения координат НКА, оперативной калибровки инструмента и изучения среды распространения сигналов были эксперименты с использованием антенн предельно малых размеров (около длины волны) на базе 78 км: небольшой специализированной антенны диаметром 1,5 метра и антенны РТ-2, установленной на территории Нижегородского государственного Университета им. Н.И. Лобачевского. В 2014 году введен в действие РСДБ-пункт «Васильсурск» на базе антенны РТ-8.

По данным первых экспериментов выявлена специфика работы РСДБ по НКА, заключающаяся в том, что все излучаемые ими сигналы синхронизированы бортовыми стандартами частоты, имеют строго определенную структуру и могут считаться квазишумовыми только условно. Пренебрежение структурой излучаемых НКА сигналов может привести к неверной интерпретации результатов обработки.

В 2010-2014 годах во время экспериментов по регистрации сигналов НКА СРНС антеннами большой эффективной площади

(диаметр 14, 15, 32 м) были проведены исследования зависимости корреляционных характеристик сигналов от структуры излучаемых сигналов, юстировка приёмных антенн, контроль временной синхронизации пунктов, модернизация программного обеспечения коррелятора и отладка методик обработки РСДБ-данных для работы по квазишумовым сигналам НКА на околоземных орбитах [5].

Практика проведения экспериментов показала необходимость разработки ряда инструкций для операторов. Кроме того, оператор должен иметь «под рукой» максимум необходимых данных об объектах исследований и характеристиках приемных пунктов РСДБ-сети, на которой проводится эксперимент.

В данной работе приведены подробные инструкции по подготовке к работе пунктов РСДБ, учитывающие специфику функционирования приемных комплексов НИРФИ, в том числе:

- методика проверки и постоянного контроля аппаратуры,
- способ организации связи между пунктами для оперативного контроля синхронизации,
- составление графика наблюдений, расчета целеуказаний, расчета основных параметров для предварительной обработки данных.

Также даются сведения о характеристиках сигналов СРНС и о параметрах аппаратурных комплексов РСДБ НИРФИ и двух приемных пунктов международной РСДБ сети, регулярно принимающих участие в сеансах наблюдений по общим программам.

1. Анализ сигналов навигационных аппаратов ГЛОНАСС и GPS

Рассмотрим структуру сигналов НКА СРНС ГЛОНАСС и GPS (НАВСТАР) по данным работ [6-8].

Глобальная спутниковая радионавигационная система обеспечивает потребителю в любой момент времени возможность

Литература

1. Абрамов В.И., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Дугин Н.А., Нечаева М.Б., Снегирев С.Д., Тихомиров Ю.В., Формозов Б.С. Радиointерферометр с независимым приёмом для солнечных исследований. Приёмный комплекс // Препринт № 523 – Нижний Новгород: ФГНУ НИРФИ. 2008 – 28 с.
2. Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Дугин Н.А., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В., Чагунин А.К. «Юстировка антенн и калибровка РСДБ НИРФИ по сигналам космических аппаратов СРНС ГЛОНАСС и НАВСТАР» – Препринт № 536. Нижний Новгород: ФГБНУ НИРФИ. 2011 – 32 с.
3. Дугин Н.А., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Нечаева М.Б., Тихомиров Ю.В. Особенности работы радиointерферометра с независимым приёмом по сигналам навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и НАВСТАР. XVII международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь» RLNC-2011. — Воронеж, НПФ «Саквоее» ООО, 12-14 апреля 2011 г., Труды Т. 3. С. 1858-1869.
4. Дугин Н.А., Нечаева М.Б., Антипенко А.А., Дементьев А.Ф., Тихомиров Ю.В. Измерение параметров антенн по сигналам космических аппаратов систем ГЛОНАСС и «NAVSTAR». Изв.ВУЗов «Радиофизика», 2011, т.54, №3. С. 177-184.
5. Dugin N., Antipenko A., Bezrukovs V.I., Gavrilenko V., Dementjev A., Lesins A., Nechaeva M., Shmeld I., Snegirev S., Tikhomirov Yu., Trokss J. Radio interferometric research of ionosphere by signals of space satellites //Baltic Astronomy, 2013. V. 22, N. 1. P.25-33.
6. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС /В. Н. Харисов, А.И. Перов, В.А. Болдин – М.: ИПРЖР, 1998.– 400 с.

Таким образом, при подготовке РСДБ эксперимента должна соблюдаться следующая последовательность действий.

1. Составление графика наблюдений

После проведения операций, рассмотренных в п.3, необходимо выбрать часть объектов, для которых будет проводиться предварительная обработка. Основные рекомендации: первым должен быть объект в самом начале сеанса; для естественных источников это должен быть стандартный калибратор с наибольшей интенсивностью и точечной структурой.

Далее выбираются два приемных пункта; главное условие – возможность быстрой передачи данных на пункт обработки. Желательно, чтобы обработка велась на одном из пунктов.

2. Расчет параметров

Для выбранных пунктов и наблюдаемых объектов рассчитываются следующие параметры для обработки на определенный момент времени.

- Величина пространственной задержки (для оптимального выбора начальной задержки при корреляции двух потоков данных с целью максимального сокращения времени поиска сигнала).
- Частота интерференции (для задания оптимального интервала частот, в котором должен быть обнаружен сигнал).
- Максимальное время интегрирования
- Коэффициенты A_0 , A_1 , A_2 , A_3 (соотношение (10) п. 3) для правильной коррекции задержки и частоты (фазы) при обработке.

определять три пространственные координаты, вектор скорости и точное время. Для получения потребителем трёх пространственных координат беззапросным методом требуется проведение измерений навигационного параметра не менее, чем до четырёх спутников, при этом одновременно с тремя координатами местоположения потребитель определяет и расхождение собственных часов относительно шкалы времени спутниковой системы.

Космический сегмент ГЛОНАСС состоит из 24 КА, размещённых в трёх орбитальных плоскостях, которые разнесены друг относительно друга на 120° по абсолютной долготе восходящего узла (точки пересечения экватора с плоскостью орбиты спутника). В каждой плоскости находятся по 8 КА с равномерным сдвигом между соседними по широте на 45° . Спутники ГЛОНАСС запускаются на несинхронную орбиту высотой 19100 км (период обращения — 11 ч 15 м 44 с) и наклоном $64,8^\circ$. Интервал повторяемости трасс каждого спутника, а следовательно, и зоны радиовидимости потребителей — 17 витков (около 8 суток). Данная конфигурация позволяет обеспечить непрерывное глобальное многократное покрытие земной поверхности и околоземного пространства «навигационным полем».

Навигационные системы являются независимыми (полностью автономными) и беззапросными (пользовательская аппаратура только принимает сигнал, не посылая запрос на спутник), используют сигналы на основе псевдошумовых последовательностей, применение которых придаёт им высокую помехозащищённость и надёжность при невысокой мощности излучения передатчиков.

1.1. Структура навигационных радиосигналов системы ГЛОНАСС

Каждый навигационный КА ГЛОНАСС непрерывно излучает шумоподобные радиосигналы в двух диапазонах – $L1$ (1,6 ГГц) и $L2$

(1,25 ГГц). Такие навигационные сигналы позволяют исключить ионосферные погрешности при приеме. На рис. 1 приведена структура сигналов в двух частотных диапазонах для ГЛОНАСС и GPS [6].

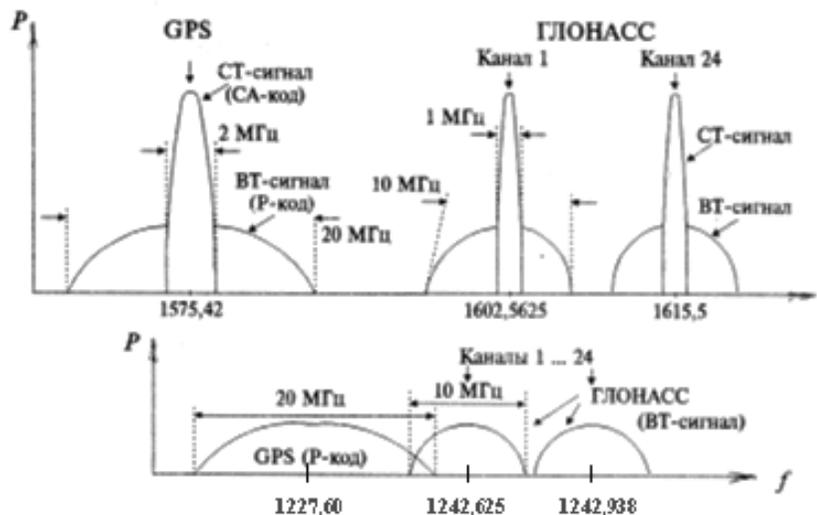


Рисунок 1 – Частотные диапазоны СРНС.

В системе ГЛОНАСС используется частотное разделение сигналов (FDMA). Каждый спутник излучает два фазоманипулированных сигнала в одном из 24 каналов, на которые разбиты диапазоны $L1$ и $L2$. Ширина полосы частот в каждом канале – 10 МГц.

Номинальные значения несущих частот навигационных радиосигналов НКА ГЛОНАСС в частотных диапазонах $L1$ и $L2$ определяются следующими выражениями:

$$f_{k1} = f_1 + k\Delta f_1, \quad (1)$$

$$f_{k2} = f_2 + k\Delta f_2 \quad (2)$$

где $k = -6, \dots, +7$ номера литер (каналов) рабочих частот спутников;

НКА в соответствующей системе (GPS или ГЛОНАСС). Числа в именах и расширениях файлов соответствуют номеру НКА в различных классификациях.

Выходные файлы имеет следующий вид:

```
2012 Feb 20 15:10:00 74 101.2182 0.4278 24672.538 -0.763927
2012 Feb 20 15:11:00 74 100.9590 0.7848 24626.738 -0.762737

2012 Feb 20 15:10:00 70 101.9011 0.6473 24643.985 -0.768596
2012 Feb 20 15:11:00 70 101.6459 1.0122 24597.905 -0.767395
```

Первые три столбца содержат дату, четвертый столбец – момент времени, пятый – номер приемного пункта (согласно файлу *.ob), шестой – азимут (градусы), угол места (градусы), расстояние (в километрах), скорость (в километрах в секунду). Первый блок содержит данные для первого РСДБ-пункта, указанного в файле *.ob, второй блок – для второго пункта и т.д. Блоки разделены пустой строкой.

5.2. Расчет параметров для корреляционной обработки сигналов НКА

Перед началом эксперимента необходимо подготовить основные параметры для проведения выборочной обработки данных непосредственно во время сеанса наблюдений как для контроля нормальной работы аппаратуры пунктов, так и для оперативного получения полезной информации по задачам эксперимента. Данная подготовка может проводиться только после составления окончательного графика наблюдений.

8	Vasilsursk, RU	56.139	+046.0741	170
5	NNGU, RU	56.298	+043.982	172
74	StPustyn, RU	55.655	+043.631	181
73	Ventspils, LV	57.553	+021.855	86

В рабочей папке программы должен содержаться файл с координатами НКА в формате TLE (см. п.3) (имя файла должно состоять из не более, чем 8 символов (dos-стандарт) и иметь расширение .tle).

После запуска программы на исполнение (файл TRAKSTAR.EXE), на дисплее возникает окно, в котором оператор должен выбрать необходимые опции:

Output Type: Look angles (формируются файлы с меткой OBS – для расчёта задержки и частоты интерференции).

Pass Type: All Passes.

Satellite File: (выбрать из предложенного списка файлов, файл, содержащий координаты НКА, например, GLO-OPS.TLE).

Select Satellites: отметить галочкой (клавиша «пробел») объекты, для которых требуется расчет координат; в результате для каждого НКА будет сформирован отдельный файл.

Observer File: выбрать из списка файл с координатами пунктов; каждый файл будет содержать несколько последовательных блоков данных, отделенных пустой строкой, для каждого пункта.

Start Time: указать время начала наблюдений.

Stop Time: указать время окончания наблюдений.

Time Interval: указать дискрет времени, с которым будут выводиться координаты (например, 00:01:00).

В результате работы программы в рабочей папке сформируются файлы с именами вида OBS32276.049, где первые три буквы обозначают опцию расчета, цифры перед точкой обозначают номер спутника в системе NORAD, цифры после точки обозначают номер

$$f_1 = 1602 \text{ MHz}, \Delta f_1 = 0.5625 \text{ MHz}; \quad (3)$$

$$f_2 = 1246 \text{ MHz}, \Delta f_1 = 0.4375 \text{ MHz}. \quad (4)$$

Состояние группировки НКА ГЛОНАСС на 14.11.2014 г. дано в таблице 1, где указаны номера плоскости каждого КА, номер его точки в плоскости, номер по наземному комплексу управления (НКУ), номер в базе данных NORAD, номер литеры и соответствующие частоты в обоих диапазонах. В таблице также приведены частоты второго гетеродина $F_{zem}^{(2)}$ приёмного комплекса РСДБ НИРФИ, которые необходимо устанавливать при приёме сигналов диапазона 1,6 ГГц каждого НКА для сохранения идентичности условий приёма в верхней боковой полосе (ВБП) при полосах приёма $\Delta F = 8$ и 2 МГц и частоте первого гетеродина 1420 МГц.

В таблице 2 приводятся номера и обозначения НКА обеих систем по НКУ и NORAD.

Для каждого спутника рабочие частоты сигналов в диапазоне $L1$ и $L2$ синхронизированы и формируются от одного эталона частоты. Отношение рабочих частот несущей каждого спутника: $f_{K2}/f_{K1} = 7/9$. Номинальное значение частоты бортового генератора равно 5.0 МГц.

В диапазоне $L1$ каждый спутник системы ГЛОНАСС излучает две несущие на одной и той же частоте, сдвинутые друг относительно друга по фазе на 90° . Одна из несущих подвергается фазовой манипуляции на 180° . Модулирующий сигнал получают сложением по модулю трёх двоичных сигналов (рис. 2):

– последовательности навигационных данных, передаваемых со скоростью 50 бит/с (рис. 2 а);

– меандрового колебания, передаваемого со скоростью 100 бит/с (рис. 2 б);

– грубого дальномерного кода, передаваемого со скоростью 511 Кбит/с (рис. 2 в, г, д).

Таблица 1

Состояние КА группировки КНС ГЛОНАСС на 14.11.2014 г.

№ тчк.	Номер по НКУ	Номер NORAD	№ лит	Частота L1, МГц	Частота L2, МГц	$F_{\text{гет}}^{(2)}$ 2 МГц	$F_{\text{гет}}^{(2)}$ 8 МГц
Плоскость 1							
1	730	36111	1	1602.5625	1246.4375	182	179
2	747	39155	-4	1599.75	1244.25	179	176
3	744	37867	5	1604.8125	1248.1875	184	181
4	742	37829	6	1605.375	1248.625	184	181
5	734	36113	1	1602.5625	1246.4375	182	179
6	733	36112	-4	1599.75	1244.25	179	176
7	745	37868	5	1604.8125	1248.1875	184	181
8	743	37869	6	1605.375	1248.625	184	181
Плоскость 2							
9	736	37139	-2	1600.875	1245.125	180	177
10	717	29671	-7	1598.0625	1242.9375	177	174
11	723	32395	0	1602	1246	181	178
12	737	37138	-1	1601.4375	1245.5625	180	177
13	721	32393	-2	1600.875	1245.125	180	177
14	715	29672	-7	1598.0625	1242.9375	177	174
15	716	29670	0	1602	1246	181	178
16	738	37137	-1	1601.4375	1245.5625	180	177
9	736	37139	-2	1600.875	1245.125	180	177
Плоскость 3							
17	746	37938	4	1604.25	1247.75	183	180
18	754	39620	-3	1600.3125	1244.6875	179	176
19	720	32275	3	1603.6875	1247.3125	183	180
20	719	32276	2	1603.125	1246.875	182	179
20	701	37372	-5	1599.1875	1243.8125	178	175
21	755	40001	4	1604.25	1247.75	183	180
22	731	36400	-3	1600.3125	1244.6875	179	176
23	732	36402	3	1603.6875	1247.3125	183	180
24	735	36401	2	1603.125	1246.875	182	179
17	746	37938	4	1604.25	1247.75	183	180

Частоты второго гетеродина $F_{\text{гет}}^{(2)}$ указаны в МГц для полосы приема 2 МГц и 8 МГц.

Используя коэффициенты полинома, полученные при расчёте задержки в п. 5.1, запишем выражение для частоты Допплера:

$$F_d[T] = F_0(A_1 + 2A_2T + 3A_3T^2) \quad (13)$$

Обычно выделяют постоянную часть частотного сдвига

$$F_{const} = F_0A_1 + f_{op} \quad (14)$$

и переменную часть, зависящую от времени:

$$F_d^{(t)}(T) = F_0(2A_2T + 3A_3T^2) \quad (15)$$

Для введения коррекции в принятый сигнал в центре обработки формируется дискретный цифровой сигнал вида:

$$S_{cor} = \exp\{-2\pi T(F_{sf} - F_0 - F_{const} - F_d^{(t)})\}, \quad (16)$$

на который умножается принятый сигнал. Далее выполняется процедура корреляции в зависимости от выбранного варианта обработки РСДБ-данных.

5.1.3. Программа TRAKSTAR

Программа TRAKSTAR.EXE [11] предназначена для определения положения космических аппаратов, находящихся в околоземном космическом пространстве, на основе орбитальных моделей SGP4 и SDP4 с использованием двухлинейного формата элементов орбиты TLE.

Рабочие файлы программы располагаются в папке TRAKSTAR. Перед запуском необходимо сформировать файл с расширением *.OB, содержащий номер пункта в нашем каталоге антенн, название, координаты (широту и долготу в градусах, и высоту над уровнем моря в метрах) приёмных пунктов. Пример файла MY_OBS.OB:

где k – номер шага вычислений.

На первом шаге ($k = 1$) принимается:

$$\tau_j^{(0)} = \frac{1}{c} \Delta \rho [t_j] \quad (8)$$

Итерации производятся до выполнения условия:

$$|\tau_{1j}^{(k)} - \tau_{1j}^{(k-1)}| \leq 10^{-13} \text{ сек} \quad (9)$$

Задержка представляется в виде полинома третьей степени, коэффициенты которого A_0, A_1, A_2, A_3 определяются путём интерполяции методом наименьших квадратов предварительно вычисленного ряда значений τ_j в равноотстоящих (с дискретом 1 с) моментах времени на всю длительность интервала обработки T :

$$\tau[T] = A_0 + A_1 T + A_2 T^2 + A_3 T^3. \quad (10)$$

5.1.2. Расчет фазы корректирующего сигнала

Коррекция по частоте осуществляется введением в принятый сигнал фазового множителя, зависящего от времени:

$$\phi_G(T) = 2\pi T (F_{sf} - F_0 - F_d + f_{op}) \quad (11)$$

где F_{sf} – известная частота гетеродинов в приёмном пункте, F_0 – средняя частота излучаемого сигнала, T – время, отсчитываемое от начального момента обрабатываемого участка t_0 , f_{op} – постоянный сдвиг частоты, вводимый оператором, F_d – частота Допплера, обусловленная движением объекта относительно приёмных пунктов, которая пропорциональна скорости изменения пространственной задержки:

$$F_d = F_0 \frac{\partial \tau}{\partial t} \quad (12)$$

Таблица номеров НКА в различных классификациях (состояние группировки на 14 ноября 2014 г.)

ГЛОНАСС			GPS		
Обозначение по NORAD Cosmos №	номер по НКУ	номер по NORAD	Тип НКА	Обознач. NORAD	Номер NORAD
2413	712	28509	ВПА-10	PRN 32	20959
2419	714	28915	ВПА-14	PRN 26	22014
2425	716	29670	ВПА-23	PRN 04	22877
2426	717	29671	ВПА-26	PRN 10	23953
2424	715	29672	ВІІR-2	PRN 13	24876
2433	720	32275	ВІІR-3	PRN 11	25933
2432	719	32276	ВІІR-4	PRN 20	26360
2434	721	32393	ВІІR-5	PRN 28	26407
2436	723	32395	ВІІR-6	PRN 14	26605
2443	725	33379	ВІІR-7	PRN 18	26690
2456	730	36111	ВІІR-8	PRN 16	27663
2457	733	36112	ВІІR-9	PRN 21	27704
2458	734	36113	ВІІR-10	PRN 22	28129
2459	731	36400	ВІІR-11	PRN 19	28190
2461	735	36401	ВІІR-12	PRN 23	28361
2460	732	36402	ВІІR-13	PRN 02	28474
2466	738	37137	ВІІRМ-1	PRN 17	28874
2465	737	37138	ВІІRМ-2	PRN 31	29486
2464	736	37139	ВІІRМ-3	PRN 12	29601
2471	701К	37372	ВІІRМ-4	PRN 15	32260
2474	742	37829	ВІІRМ-5	PRN 29	32384
2476	744	37867	ВІІRМ-6	PRN 07	32711
2477	745	37868	ВІІRМ-8	PRN 05	35752
2475	743	37869	ВІІF-1	PRN 25	36585
2478	746	37938	ВІІF-2	PRN 01	37753
2485	747	39155	ВІІF-3	PRN 24	38833
2492	754	39620	ВІІF-4	PRN 27	39166
2500	755	40001	ВІІF-5	PRN 30	39533
			ВІІF-6	PRN 06	39741
			ВІІF-7	PRN 09	40105
			ВІІF-8	PRN 03	40294
			ВПА-10	PRN 32	20959

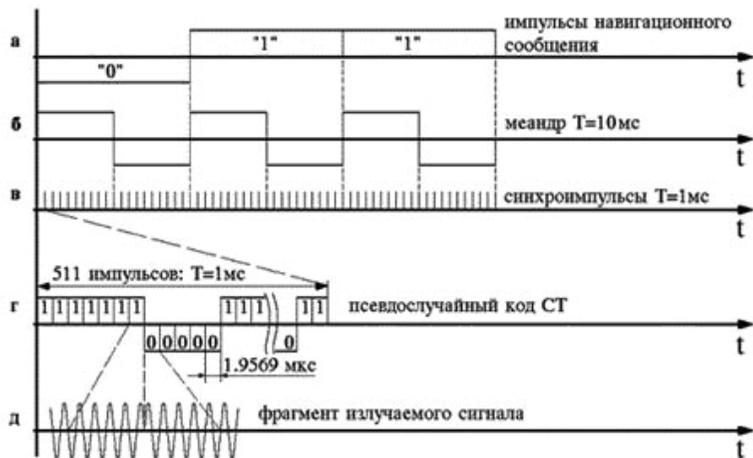


Рисунок 2 – Структура сигнала НКА ГЛОНАСС.

Структура навигационного сообщения.

Навигационное сообщение передается в виде потока цифровой информации (ЦИ), закодированной по коду Хемминга и преобразованной в относительный код. Структурно поток ЦИ формируется в виде непрерывно повторяющихся суперкадров. Суперкадр состоит из нескольких кадров, кадр состоит из нескольких строк ЦИ.

Границы строк, кадров и суперкадров различных НКА синхронны с погрешностью не более 2 мс.

Структура суперкадра. Суперкадр имеет длительность 2.5 мин и состоит из 5 кадров. В пределах каждого суперкадра передается полный объем неоперативной информации (альманах) для всех 24 НКА системы ГЛОНАСС.

Структура кадра. Навигационный кадр является частью суперкадра. Каждый навигационный кадр имеет длительность 30 с и состоит из пятнадцати строк длительностью 2 с каждая. В пределах каждого кадра передается полный объем оперативной ЦИ для данного НКА и часть неоперативной ЦИ. В каждом кадре

5.1.1. Модель временной зависимости задержки

Информативные сигналы, поступающие на коррелятор, рассинхронизированы на величину:

$$\tau_{cor}[T] = \tau[T] + \Delta t \quad (5)$$

где τ – геометрическая задержка между принятыми сигналами, T – время, отсчитываемое от начального момента обрабатываемого участка t_0 , $\Delta t = \Delta t_2 - \Delta t_1 + \Delta t_{op}$ – рассинхронизация местных шкал времени в начальный момент обрабатываемого участка записи, $\Delta t_1, \Delta t_2$ – смещение шкалы времени в первом (опорном) и втором приёмном пункте, Δt_{op} – дополнительный временной сдвиг, задаваемый оператором. Квадратными скобками обозначена зависимость величины от времени.

В экспериментах по приёму сигналов навигационных аппаратов вычисление задержки выполняется из известных расстояний до КА ρ_1 и ρ_2 , заданных с точностью до 1 метра на каждую секунду интервала обработки. Исходные данные для расчета задержки содержатся в файлах с именами вида OBS*.*, формируемых программой TRAKSTAR (п. 5.1.3).

Для каждой минуты наблюдений вычисляется разность расстояний $\Delta\rho$, которые проходит сигнал от НКА до антенн. Полученный ряд методом наименьших квадратов интерполируются полиномами 3-ей степени вида:

$$\Delta\rho[T] = P_0 + P_1T + P_2T^2 + P_3T^3 \quad (6)$$

Определяется задержка распространения сигнала от НКА до приёмного пункта путём решения последовательными приближениями следующего уравнения:

$$\tau_j^{(k)} = \frac{1}{c} \Delta\rho[t_j + \tau_j^{(k-1)}], \quad (7)$$

Первичная обработка заключается в перемножении сигналов двух приёмных РСДБ-пунктов. Предварительно выполняется коррекция одного из сигналов (или обоих сигналов) для компенсации взаимной разности хода, возникающей на разных трассах распространения сигнала от объекта до приёмных РСДБ-пунктов. Для этого в один из сигналов вводится предварительно рассчитанная задержка (см. п. 5.1.) и частотный сдвиг (см. п. 5.2).

Для каждой базы РСДБ-комплекса строится корреляционная функция в зависимости от задержки. Результатом корреляционной обработки является задержка в максимуме функции корреляции τ_m .

На втором этапе обработки сигналы перемножаются между собой с введенной в один из сигналов задержкой τ_m , и выполняется спектральный анализ полученного кросс-корреляционного сигнала. Измеряется частота максимума спектра выходного сигнала интерферометра – частота интерференции, которая пропорциональна скорости изменения геометрической задержки. Частота интерференции представляет собой относительный доплеровский сдвиг частот между принимаемыми в двух приёмных пунктах РСДБ сигналами от НКА, обусловленный суточным вращением Земли и перемещением НКА по орбите. При измерении частоты интерференции извлекается информация о скорости движения НКА в плоскости, перпендикулярной лучу зрения.

5.1. Алгоритмы расчета предварительных значений основных параметров

При выполнении корреляционной обработки необходимо компенсировать разность времён распространения излучения от КА до приёмных пунктов интерферометра путем внесения коррекции задержки и частоты.

суперкадра информация, содержащаяся в строках с первой по четвертую, относится к тому НКА, с которого она поступает (оперативная информация). Эта информация в пределах суперкадра не меняется. Строки с шестой по пятнадцатую каждого кадра заняты неоперативной информацией (альманах) для 24-х НКА системы: по пяти НКА в кадрах с первого по четвертый и по четырем НКА в пятом кадре. Неоперативная информация (альманах) для одного НКА занимает две строки. Информация пятой строки в кадре относится к неоперативной информации и повторяется в каждом кадре суперкадра.

1.2. Структура навигационных радиосигналов системы GPS

В отличие от ГЛОНАСС все аппараты работают на одной несущей частоте в каждом из двух поддиапазонов: 1227.60 и 1575.42 МГц. Идентификация КА осуществляется по кодовому сигналу. Полоса частот всех излучаемых сигналов – 20 МГц.

Частоты второго гетеродина $F_{gem}^{(2)}$ приёмного комплекса РСДБ ФГБНУ НИРФИ, которые необходимо устанавливать при приёме сигналов НКА GPS в верхней боковой полосе (ВБП) диапазона 1.6 ГГц при полосах приёма $\Delta F = 8$ и 2 МГц, равны 151 и 154 МГц.

Сравнительные характеристики двух основных СРНС по различным параметрам приведены в Таблице 3.

Таблица 3

Сравнительная характеристика систем ГЛОНАСС и GPS

Показатель	ГЛОНАСС	GPS
Число КА в полной орбитальной группировке	24	24 (32)
Число орбитальных плоскостей	3	6
Число КА в каждой плоскости	8	4
Наклонение орбиты	64,8°	55°
Высота орбиты, км	19 130	20 180

Период обращения спутника	11 ч 15 мин 44 с	11 ч 58 мин 00 с
Система координат	ПЗ-90	WGS-84
Масса навигационного КА, кг	1450	1055
Мощность солнечных батарей, Вт	1250	450
Срок существования, лет	3 (5)	7,5
Средства вывода КА на орбиту	«Протон-К/ДМ»	Delta 2
Число КА, выводимых за 1 запуск	3	1
Космодром	Байконур	Мыс Канаверал
Эталонное время	UTC (SU)	UTC (NO)
Метод доступа	FDMA	CDMA
Несущая частота:		
L1	1598,0625—1605,37	1575,42
L2	7/9 L1	60/77 L1
Поляризация	Правосторонняя	Правосторонняя
Тип псевдошумовой последовательности	<i>m</i> -последовательность	код Голда
Число элементов кода:		
C/A	511	1023
P	51x1000	2.35x1014
Скорость кодирования, Мбит/с:		
C/A	0,511	1,023
P	5,11	10,23
Уровень внутрисистемных радиопомех, дБ	- 48	-21,6
Структура навигационного сообщения:		
Скорость передачи, бит/с	50	50
Вид модуляции	BPSK (Манчестер)	BPSK NRZ
Длина суперкадра, мин	2,5 (5 кадров)	12,5(25 кадров)
Длина кадра, с	30 (15 строк)	30 (5 строк)
Длина строки, с	2	6
Излучаемая мощность	60 Вт	64Вт

(Update interval) 1 минуту и синхронизацию (Synchronize to) по UTC. После этого нажать клавишу Start.

После настройки и запуска проверить в окне Time Keeper, как происходит синхронизация времени (Last update, Next update in – в этих строчках высвечивается текущее время синхронизации, обновляемое через интервал обновления).

4.4. Связь между пунктами

Ввиду отсутствия сети Интернет в технологических зданиях РАО в Зименках и в Старой Пустыни передача данных с 2011 г. осуществляется через 3G модемы сотовой связи МТС. Сигнал станции в Пустыни принимается уверенно прямо в технологическом здании. В Вентспилсе Интернет подведен на антенну, что позволяет поддерживать уверенную связь с остальными пунктами.

В Евпатории необходима договоренность с военными на связь во время сеанса. В комнате 306 есть подключение к интернету, но отключен доступ ко всем почтовым серверам. ICQ работает. Интернет-подключение большую часть времени в сеансе 2011 года поддерживалось с помощью мобильного телефона (подключение МТС (Украина)). Скорость маленькая, подключение на РТ-70 ненадежное. Можно использовать только для ICQ и электронной почты.

5. Обработка экспериментальных данных

Основной задачей первичной обработки РСДБ-данных является вычисление модуля комплексного двумерного кросс-корреляционного сигнала в координатах «амплитуда – временная задержка τ – частота интерференции F ». В экспериментах по определению положения космического аппарата в результате обработки измеряется частота интерференции и временная задержка сигналов, принятых в пунктах РСДБ.

Открывается диалоговое окно – новое подключение (New Connections). Нужно выбрать устройство (Device) – GPS Receiver, далее выбрать COM порт к которому подключён приёмник GPS (COM1 или COM2). Далее, если мы не знаем установок (Baud Rate, Parity, Data Bus, Stop Bits), поставить галочку напротив Auto-detect settings и нажать ОК (Рис.10). Программа автоматически сконфигурирует работу приёмника.

После сделанных настроек нужно в разделе Tools запустить Time Keeper (Рис. 11).

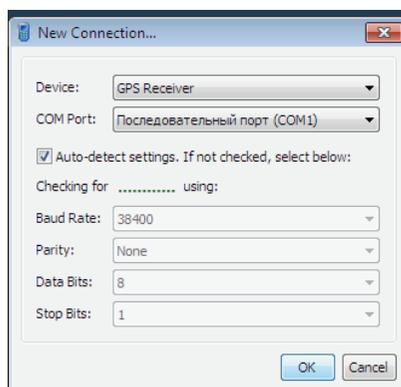


Рисунок 10 – Выбор параметров COM-порта при создании подключения в программе Trimble GPS Studio

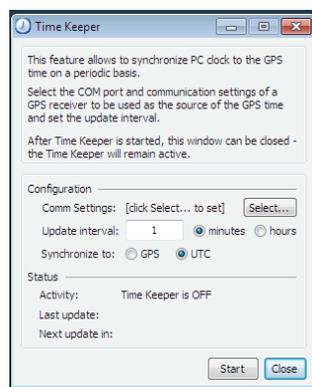


Рисунок 11 – Запуск программы привязки времени компьютера в программе Trimble GPS Studio

Открывается диалоговое окно Time Keeper. В этом окне проверяем настройки, нажав на клавишу Select. Открывается диалоговое окно Port Setting, идентичное окну New Connection. Если настройки сбросились, нужно повторить действия как в пункте новое подключение (New Connection). В нём проверяем наши настройки, нажав на клавишу Select. Открывается диалоговое окно Port Setting. После проверки порта выбираем Интервал обновления

2. Структура РСДБ-сети ФГБНУ НИРФИ и антенные системы

РСДБ-комплекс ФГБНУ НИРФИ к настоящему времени апробирован в экспериментах по приему сигналов НКА в составе следующих приёмных пунктов: РТ-14 (Старая Пустынь), РТ-15 (Зимёнки), РТ-1,5 (Старая Пустынь), РТ-2 (ННГУ), две малые антенны РуА или серийная П6-23А (НИРФИ и Старая Пустынь) (рис. 3).

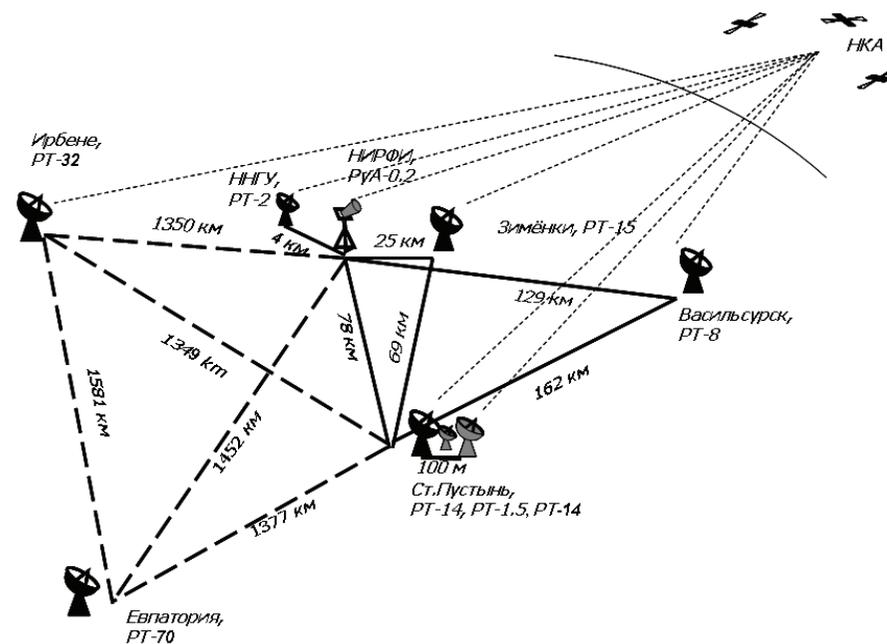


Рисунок 3 – Схема РСДБ-комплекса.

В 2014 г. введен в действие пункт полигона «Васильсурск» с антенной РТ-8. Основной рабочий диапазон комплекса: 1570–1607 МГц. Радиоастрономические наблюдения (радиоисточники, ионосфера, Солнце) могут проводиться на частотах 327 и 610 МГц на двух пунктах НИРФИ (Старая Пустынь, Васильсурск), а также совместно с Ирбене и Евпаторией на частоте 327 МГц.

2.1. РАО «Старая Пустынь»

Радиотелескоп РТ-14. Монтаж азимутально-угломестная. Облучатель – трехчастотный [1], крепится в фокусе зеркала на центральной трубе, имеющей отсчетную шкалу. На частоте 1.6 ГГц определено наличие модуляции фокального пятна, максимум сигнала принимается при положении несущей трубы «20» по отсчетной шкале относительно внутреннего края фланца, ближнего к облучателю.

Квадратурные мосты на все три частоты и два ВЧ-блока приемников (на 1.6 ГГц и совмещенный 327/610 МГц) крепятся в непосредственной близости к облучателю.

Сигналы от приемников передаются в кабину шестью радиочастотными кабелями длиной 15 м и двумя сетевыми для подачи напряжения 12-15 В от блоков питания в кабине. Между радиотелескопом и технологическим зданием сигналы передаются по пяти кабельным трассам длиной 120 м (три из них – экранированные с малыми потерями). Сетевое напряжение подается наружным трехжильным кабелем из пилона среднего РТ-14.

Привязка отсчетных лимбов системы сопровождения: **0° по азимуту – на юг**, 90° по высоте – в зенит. Имеется график поправок наведения, измеренный на частоте 327 МГц. Разъюстировка на 1.6 ГГц не совпадает с этим графиком в северной области.

Антенна РТ-1.5. Используется серийная антенна («Сириус») с управлением от морской связной станции «Волна-С». Установлена под обтекателем в 30 м от технологического здания. Источник может наблюдаться без сопровождения 20-30 минут, до спада сигнала до уровня 0.3. Привязка к сторонам света: **Аз (лимб) = Аз (расчет) - 85° (отсчет от юга; может измениться при перемещении антенны)**; высота – по лимбу (90° по высоте – в зенит). Проведена балансировка зеркала по высоте. При вводе в действие требуется прокладка трех кабелей длиной около 40 м:

Для нормальной работы терминала ТН-16 на него необходимо подать:

- питание 5 В от автономного блока,
- сигнал тактовой частоты от засинхронизированного от стандарта генератора (Г4-158, SMB100A), равный удвоенному значению полосы приема (16 МГц при полосе приема 8 МГц, 4 МГц при полосе 2 МГц);
- синхросигнал «1 сек» от буферного блока (Ч7-15),
- информационный сигнал с видеоконвертера.

К компьютерам терминал подключается многожильным шлейфовым кабелем с маркированными разъемами. При нормальной работе светодиод, встроенный в корпус терминала, будет мигать каждые 6 секунд.

Привязка времени компьютеров.

Синхронизация времени на компьютерах в системе регистрации происходит по сигналам GPS от внешней антенны через COM порт с помощью программы Trimble GPS Studio V1-01-21, запускаемой с Рабочего стола компьютера.

При первом запуске программы нужно выбрать на панели подключение (Connections), новое подключение (New Connections) (Рис.9).

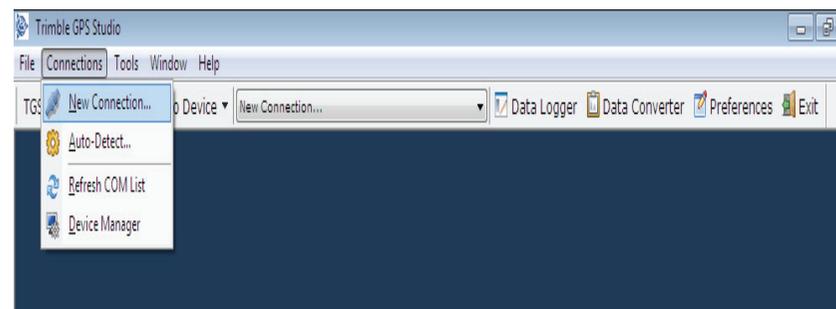


Рисунок 9 - Создание нового подключения к GPS антенне в рабочем окне программы Trimble GPS Studio

индивидуальных параметров блоков (усиления). Основным критерий выбора усиления – **отсутствие ограничения шумового сигнала** на экране осциллографа. Обычное соотношение уровней: от Солнца сигнал на 3-5 дБ меньше сигналов от НКА (требуется добавить в тракт ПЧ аттенуатор 6-10 дБ); от радиоисточников сигнал на 10-15 дБ меньше, чем от Солнца.

4.3. Система регистрации

Система регистрации РСДБ данных на инструментах ФГБНУ НИРФИ подробно рассмотрена в Препринте № 536 [2], где описан принцип действия терминала записи ТН-16, его устройство и даны все инструкции для пользователя, в том числе инструкции по запуску регистрации и составлению расписания на сеанс наблюдений. На рис. 8 приведена схема подключения терминала к компьютерам при режиме непрерывной записи информации без потерь на сброс из оперативной памяти на жесткий диск.

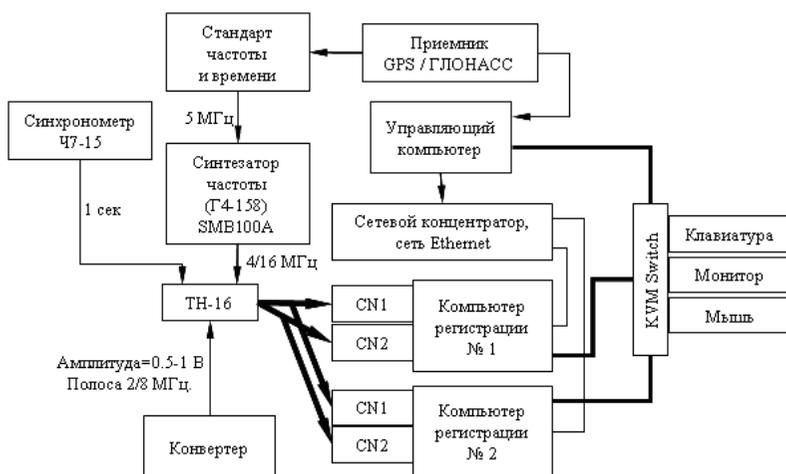


Рисунок 8 – Схема подключения терминала ТН-16 в рабочем режиме

сетевой (220 В), ПЧ и 5 МГц (опорный), с выхода антенны – переход на разъем «экспертиза». Базовое расстояние РТ-14 – РТ-1.5 около 100 м.

Некоторые характеристики РТ-1.5:

- полноповоротная с диаметром зеркала 1.5 метра;
- монтировка азимутально-угломестная;
- рабочий диапазон – (1.1 - 1.6) ГГц (по КСВ менее 1.8);
- полуширина ДН на 1.6 ГГц около 8.5°, на уровне 0.1 - около 15°;
- поляризация облучателя - левая круговая;
- управление – ручное и автоматическое от базовой станции.

2.2. Антенна РТ-8 пункта «Васильсурск»

Установлена на территории нагревного стенда «СУРА». Азимутально-угломестная монтировка, управление ручное (возможна установка моторов для полуавтоматического сопровождения от пультов с сельсин-приемниками точного и грубого отсчета по высоте и азимуту). Ширина ДН составляет около 1.7° (1.6 ГГц), источник может наблюдаться методом «нахождение» до получения графика точных разъюстировок. Специфическая (устаревшая военная) градуировка лимбов системы слежения: привязка к сторонам света для ручного наведения:

1) угол места (штурвал слева): отсчет ведется от направления в ЗЕНИТ (0 делений = зенит; 15 делений = горизонт). Лимб "Грубо" разбит на 15 единиц, лимб "Точно" разбит на 3 сектора, в каждом секторе – 100 единиц. Один сектор равен одному делению диска "Грубо".

2) азимут (штурвал справа): отсчет ведется от направления на ЮГ противоположно движению Солнца (0 делений = юг, 15 дел. = восток, 30 дел. = север, 45 дел. = запад). Лимб "Грубо" разбит на 60 единиц, лимб "Точно" разбит на 3 сектора, в каждом секторе - 100 единиц. Один сектор равен одному делению диска "Грубо".

Следует обратить внимание, что рабочим указателем является указатель на внешнем диске.

В таблицах ЦУ, выдаваемых оператору, содержатся следующие значения: время (часы, минуты) – первый и второй столбец; угол места – третий столбец; азимут – четвертый столбец. Пример строки с целеуказаниями:

5 20 9.2 11.92

Угол места и азимут отложены в дробных значениях: целая часть выставляется на лимбе "Грубо", дробная часть (две цифры после запятой) выставляется на лимбе "Точно". Например, если значение равно 11.92, то на лимбе "Грубо" указатель выставляется между делениями 11 и 12, а на лимбе "Точно" – значение 92 выставляется в том секторе, где находится указатель.

Проложены шесть кабелей длиной 50 м: 10-ти жильный питания 6-15 В, 5 МГц, ФСК и три ПЧ в район фокальной области к трехчастотному облучателю, на задней стенке которого смонтированы квадратурные мосты и ВЧ-блоки приемников.

2.3. Антенна РТ-2 пункта «ННГУ»

Установлена на крыше здания радиофизического факультета Нижегородского госуниверситета. Азимутально-угломестная монтаж, управление ручное и полуавтоматическое от пультов с сельсин-приемниками точного и грубого отсчета по высоте и азимуту. Ширина ДН составляет около 6.5° на частоте 1600 МГц, источник может наблюдаться без сопровождения в течение 10 мин наблюдения. Привязка к сторонам света для ручного наведения: **Аз (лимб) = 241° - Аз (расчет), отсчет от юга**; **высота Н (лимб) = 90° - Н (расчет)**. Требуется балансировка зеркала по высоте при смене приемной аппаратуры и **проверка положения по азимуту из-за возможных перемещений антенны**. Проложены три кабеля длиной около 20 м: питание 15 В, ПЧ и 5 МГц. Базовое расстояние РТ-2 (ННГУ) – РуА(НИРФИ) около 3.8 км.

Б) ПЧ-НЧ часть, монтируемая в технологическом помещении, состоит из видеоконвертера, синтезатора сигнала второго гетеродина СЧГ-210 (или синхронизируемого генератора), синхронизируемого генератора опорного сигнала с возможностью введения частотной расстройки (на одном из пунктов), многоканального усилителя опорного сигнала, регистратора интенсивности (самописец) и контрольного осциллографа.

Сигнал ПЧ в полосе (150-190) МГц поступает на конвертер, где переносится на видеочастоту с полосой 2, 4 или 8 МГц при смешении с сигналом второго гетеродина от четырехканального синтезатора СЧГ-210, который выдает сигналы с частотой от 150 до 210 МГц. Преобразованный сигнал поступает на систему регистрации ТН-16. Служебные сигналы синхронизации потока данных берутся с буферного блока (Ч7-15 или Ч7-37). Частотомер (Ч3-54 или Ч3-38) служит для контроля частоты СЧГ-210 и измерения интервала между внешней и внутренней секундой. Для визуального контроля видеосигнала используется осциллограф (С1-65, С1-55), необходимое для правильной регистрации значение сигнала не менее 1-1.5 В. Контроль изменения принимаемого сигнала от времени ведется на самописце или на электронной системе записи интенсивности.

Все приборы, используемые для вырабатывания служебных частот, должны быть засинхронизированы сигналом 5 МГц от водородного стандарта.

При работе по НКА ГЛОНАСС значение частоты второго гетеродина СЧГ-210 устанавливается согласно таблице 1, для НКА GPS частота второго гетеродина постоянна для всех аппаратов и равна 151 МГц при полосе приёма 8 МГц и 154 МГц для полосы 2 МГц.

Значения положения переключателей видеоконвертера для поддержания уровня выходного сигнала 1-2 В (по контрольному осциллографу) могут варьироваться в зависимости от

В состав блоков входят:

- входной фильтр с полосой пропускания 40 МГц,
- МШУ с шумовой температурой 70-80 К (коэффициент шума 0.8 - 1 дБ).
- гетеродин, смеситель и УПЧ с полосой 150-190 МГц.

Коэффициент усиления по тракту не менее 50 дБ, неравномерность коэффициента передачи в полосе – 3 дБ, номинальное значение выходного сигнала ± 1 В.

Конструктивно оба ВЧ блока собраны в одном корпусе.

Питание в ВЧ-блоки (5, 12, 15 В) подается из технологической кабины, откуда также по отдельным кабелям подводятся опорный сигнал 5 МГц, сигнал ФСК (1 МГц) и отводится сигнал ПЧ (150-190 МГц), передаваемый далее в центральный пункт.

Амплитуда опорного сигнала 5 МГц различна для разных приёмников. Значение амплитуды желательнo поддерживать:

- в пределах 1 – 3 В для приёмника 327/610 МГц,
- не менее 1 В для приёмника 1.6 ГГц.

В технологической кабине расположены блоки питания ВЧ частей приемников, индикатор времени для оператора, управляющего антенной, и блок ФСК (формирователя сигнала контроля), служащий для проверки когерентности всего тракта. ФСК вырабатывает импульсный сигнал с частотой 1 МГц и периодом повторения импульсов 1-2 мс, который поступает на вход МШУ через направленный ответвитель с затуханием порядка 20 дБ.

От технологической кабины телескопа к лабораторному корпусу проложены кабельные трассы для передачи сигналов опорной частоты (5 МГц), ПЧ (до трех линий), ФСК (1 МГц) и времени. Сигнал ПЧ должен подаваться в лабораторный корпус по кабелю с наименьшим затуханием длиной от 50 до 200 м; для сильных источников может потребоваться дополнительное ослабление 6-15 дБ, которое вносится в тракт ПЧ аттенуатором.

2.4. Радиотелескоп РТ-32 «Ирбене» (по состоянию на 2014 г.)

Управление автоматическое от ЭВМ. Привязка отсчетных лимбов системы сопровождения: **0° по азимуту – на север, 90° по высоте – в зенит.**

В 2012 году выполнено оснащение радиотелескопа РТ-32 в Ирбене высокочастотным блоком приёмника (по структурной схеме аналогичным приемникам НИРФИ) и облучателем на 1.6 ГГц. Облучатель, изготовленный на основе спиральных антенн и предназначенный для приема излучения с правой круговой поляризацией, установлен во вторичном фокусе РТ-32.

Облучатели на частоты выше 1.6 ГГц смонтированы во вторичном фокусе зеркала. Облучатель на 327 МГц помещен в район первичного фокуса у края контррефлектора. Величина разъюстировки по обеим координатам определена по радиоисточникам Кассиопея А и Лебедь А; в координаты должны вводиться следующие поправки: **по углу места $\Delta\Theta_h = 6.22^\circ$; по азимуту $\Delta\Theta_a = \Delta\Theta_a^0 / \cos h$, где h – угол места, $\Delta\Theta_a^0 = 6.5^\circ$.** Имеется возможность увеличения КПД приемного тракта на 2 дБ при установке ВЧ-блока приемника рядом с облучателем. Приемник на 327 МГц аналогичен приемникам ФГБНУ НИРФИ.

Опробована работа приёмной аппаратуры в комплексе с блоками частотного преобразования сигналов DVBC и систем регистрации МК5b и ТН16.

2.5. Радиотелескоп РТ-70 «Евпатория» – (по состоянию на 2011 г.)

Управление автоматическое от ЭВМ. Привязка отсчетных лимбов системы сопровождения: **0° по азимуту – на север, 90° по высоте – в зенит.** Требуется согласование с операторами (к.104) формата файла целеуказаний по КА. Исходными данными являются **прямое восхождение и склонение на дату на каждую минуту скана.**

Облучатель на 327 МГц смонтирован во вторичном фокусе, поэтому возможна одновременная работа на частоте 327 МГц с одной из набора частот по положению ПЗС (1.6, 2.3, 5, 8.4 и 22 ГГц - возможны изменения).

Приемники на все частоты (кроме 327 МГц) - с охлаждаемыми МШУ, установка своих ВЧ-блоков проблематична.

Во время эксперимента 2011 года опробован режим совместной работы РСДБ НИРФИ и пункта РТ-70 (Евпатория). Ниже выделены основные моменты, которые необходимо учесть при проведении экспериментов.

Приёмники. Рабочие частоты: $F = 325$ МГц, 1665 МГц.

а) **Работа на 325 МГц.** Два гетеродина: $F_1 = 485$ и 500 МГц. Переключение выполняется в надзеркальной кабине. Полоса частот узкая (10-12 МГц). Центральные частоты полосы сигнала ПЧ (в зависимости от включенного гетеродина): 160 и 175 МГц соответственно. Более удобно для совместной работы использовать гетеродин 500 МГц.

На выходе облучателя – две круговые поляризации. Помеховая обстановка неблагоприятная. На одной из поляризаций помехи существенно меньше. Нужно выяснять, какие тракты ВЧ используются на каждой поляризации, проверять характеристики и выбирать лучшие. Источники 3С273 и 3С295 видны достаточно чётко.

б) **Работа в диапазоне 1.6 ГГц.**

Полоса приема – от 1600 до 1680 МГц. ГЛОНАСС попадает в полосу, GPS наблюдается на спаде характеристики с подавлением 20 дБ.

Частота первого гетеродина – 1250 МГц. Полоса ПЧ: от 350 до 430 МГц. Частота второго гетеродина изменяется от 400 до 510 МГц. ГЛОНАСС попадает в ПЧ (345-355) МГц. Можно работать с гетеродином $F_2=510$ МГц, снос во вторую ПЧ (165-155) МГц в нижней боковой полосе. GPS: в полосу попадает только край

А) **ВЧ-часть**, монтируемая на антенне.

ВЧ-блоки на все рабочие частоты монтируются в непосредственной близости к трехчастотному облучателю вместе с квадратурными мостами, с которыми соединяются короткими кабелями с минимальными потерями.

Каждый из ВЧ блоков состоит из малошумящего усилителя (МШУ) с шумовой температурой 70-100 К (менее 1 дБ), смесителя, УПЧ и первого гетеродина. На входе блока на 1,6 ГГц ставится внешний перестраиваемый фильтр с полосой пропускания 40 МГц.

Блок гетеродина диапазона 1.6 ГГц выдает две частоты 1420 и 1500 МГц, первая служит для работы по НКА СРНС, вторая – для работы в радиоастрономическом диапазоне 1665 МГц. Уровень мощности выходного сигнала – 10 мВт, уровень негармонических составляющих – 62 дБ, уровень фазовых шумов при отстройке на 100 Гц – 80 дБ.

ВЧ-блоки на частоты 327 и 610 МГц выполнены по одной схеме (рис. 7).

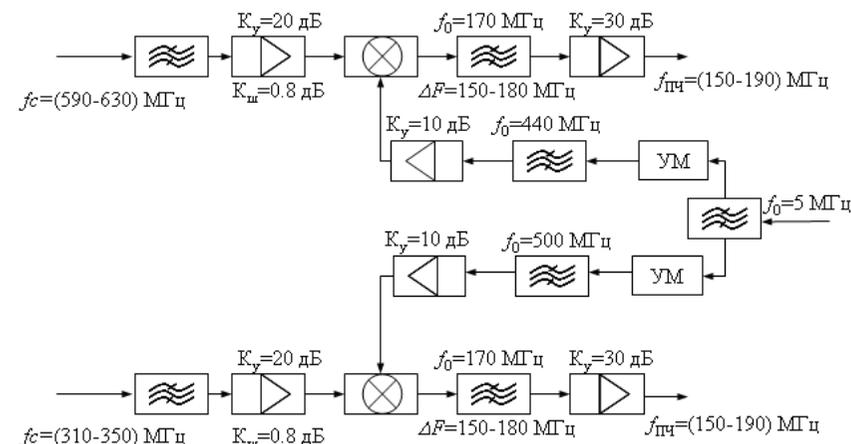


Рисунок 7 – Блок-схема ВЧ-блока приемника 327/610 МГц.

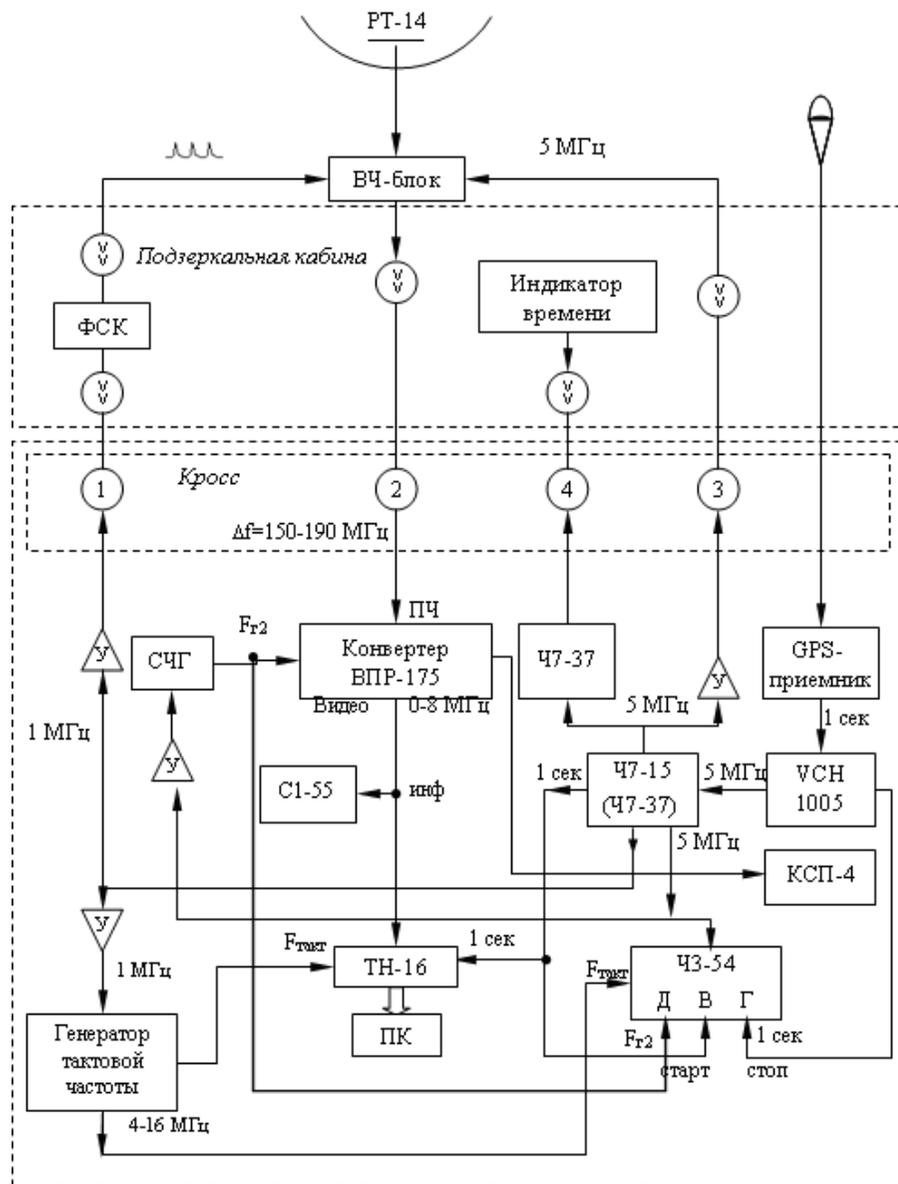


Рисунок 6 – Блок-схема приемного комплекса РСДБ-пункта «Старая Пустынь», 2012 год.

излучаемой полосы 1583-1585 МГц. При втором гетеродине 496 МГц третий гетеродин 163 МГц совпадает с частотой второго гетеродина в Старой Пустыни. При этом в Ст.Пустыни – **верхняя боковая** полоса, в Евпатории – **нижняя боковая** полоса приема.

При наведении на НКА GPS сигнал виден достаточно чётко. Сигнал НКА ГЛОНАСС очень мощный, наводиться следует с поправкой от 40 угл. минут до 1 градуса. Заметно сильное возрастание шумов при увеличении сигнала, т.е. либо приёмник возбуждается (при наведении на слабый радиисточник возбуждение осталось), либо есть сильная помеха.

Синхронизация. По состоянию на 2011 год существуют две системы времени: СЕВ – от радио и два водородных стандарта с привязкой по GPS. Привязка осуществляется по спутникам от антенн установленных снаружи. Сигнал GPS виден плохо, привязка осуществляется периодически. По данным сентября 2011 г. - сигнал СЕВ отличался от прямого сигнала GPS (из комнаты 302 АКЦ) на 10 мкс, водородная секунда отличалась от GPS и СЕВ на ~150 мс. Компьютер регистрации, на который подключен терминал ТН-16, синхронизируется от приёмника GPS («мышки») установленной за окошком комнаты 306. Начиная с 2009 года шкала времени на компьютере визуально отличается от шкалы времени СЕВ, шкалы времени, синхронизируемой по интернет, и шкалы времени GPS. Отличие составляло 22 сентября в начале сеанса -1 с; позже изменилось на доли секунды. После перезапуска компьютера с регистрацией стало ~+1 с.

2.6. Рупорная антенна НИРФИ

Используются серийная антенна П6-23А и рупор РуА. Некоторые характеристики РуА (облучатель зеркальной антенны с $F/D=0,4$):

- диаметр раскрыва 0.2 метра; форма – круглый волновод;
- рабочий диапазон – 1.6 ГГц;

- ширина ДН на уровне половинной мощности 70° , на уровне 0.1 - около 130° ;
- запитка – два ортогональных диполя; приём сигнала правой круговой поляризации при использовании квадратурного моста.

П6-23А имеет линейную поляризацию, на которой очень высок уровень помех. Помехи на РуА также велики.

Сочетание в интерферометрах одной большой антенны и одной малой позволяло последовательно отработать методику приёма и обработки при резком уменьшении сигнала одного приёмного пункта относительно другого: сигнал с РТ-1.5 меньше сигнала с РТ-14 примерно на два порядка, сигнал с РуА меньше сигнала с РТ-14 в $2 \cdot 10^3$ раз.

3. Составление программы эксперимента по наблюдению навигационных космических аппаратов

На первом этапе составления программы наблюдений НКА производится выбор объектов, находящихся в общей зоне видимости антенн РСДБ-комплекса. Для наблюдений выбираются НКА на углах места более 12 градусов. Расписание эксперимента составляется таким образом, чтобы время перевода антенн с одного объекта на другой было минимальным и антенны двигались в одном направлении по азимуту, не меняя направления движения в одном сеансе.

Для выбора объектов наблюдений и расчёта предварительных координат НКА используется программа HEAVENSAT.exe [9]. Рабочее окно программы HEAVENSAT представлено на рис. 4.

Исходными данными для программы Heavensat являются параметры орбит спутников в двухстрочном формате данных Two-Line Element set (TLE), который является стандартом для систем NORAD, NASA и других систем, использующих данные

Соединение VCH-311 с компьютером производится при выключенном оборудовании. На дисплее РС отображается информация о текущем времени UTC, GPS, количество спутников в зоне видимости антенны и координаты пункта.

После проверки правильности соединений прибор включается тумблером на задней панели, индикаторы на передней панели должны быть в следующих состояниях: «Сеть» – горит, «Предохр.», «1 PPS», «Отказ», «Норм.» – погашены, горит подсветка символьного дисплея интерактивной панели; на дисплее РС сначала отображается сообщение о предприятии-изготовителе и версия матобеспечения процессора, затем сообщение о прогреве встроенного опорного Rb-генератора.

Через 5 – 30 минут индикатор «1 PPS» начинает мигать, что свидетельствует о запуске приемного устройства. Время выхода прибора в рабочий режим – 1 час. При прогреве прибора на символьном табло отображается сообщение «прогрев Rb». После прогрева автоматически включается режим «Стандарт» и прибор переходит к определению погрешности по частоте встроенного Rb-генератора. **Время с момента окончания прогрева до первой коррекции частоты примерно 2 – 8 часов.** По истечении этого времени при штатном функционировании прибора на передней панели загорается индикатор «Норм.», на дисплее отображается информация «Нормальная работа» о готовности прибора к использованию выходных сигналов.

Выключение – тумблером «Сеть».

4.2. Приёмная аппаратура

Общая блок-схема приемных РСДБ пунктов стандартна и может отличаться только отдельными элементами, на рис. 6 приведена схема пункта РАО «Старая Пустынь».

используется режим «Стандарт». Работа ведется по сигналам навигационной системы GPS.

Технические характеристики:

- 1) номинальные значения частот выходных сигналов 10 МГц, 5МГц, 2048 МГц, 1 Гц;
- 2) среднеквадратичное значение напряжения выходных сигналов 10 и 5 МГц на нагрузке 50 Ом (1 ± 0.2) В;
- 3) среднее квадратичное относительное двухвыборочное отклонение результата измерений частоты δf выходного сигнала 10 МГц (5МГц) при работе прибора в режиме «Стандарт» (и при отсутствии преднамеренного ухудшения характеристик навигационного сигнала стандартной точности систем ГЛОНАСС/GPS) для интервала времени измерения ΔT не более:

ΔT	1 с	10 с	100 с	1 сутки
δf	$1.5 \cdot 10^{-11}$	$7.0 \cdot 10^{-12}$	$2.0 \cdot 10^{-12}$	$2.0 \cdot 10^{-12}$

- 4) относительная погрешность прибора по частоте не более:
 - через 2 часа после установления рабочего режима $\pm 2 \cdot 10^{-11}$,
 - через 8 часов после установления рабочего режима $\pm 7 \cdot 10^{-12}$,
 - через 24 часа после установления рабочего режима $\pm 3 \cdot 10^{-12}$.

Место монтажа антенного блока «Acutime-2000» должно быть выбрано с учетом наличия прямой радиовидимости максимальной площади небесной полусферы. Как правило, антенну необходимо монтировать на крыше зданий без затенения рядом расположенными конструкциями. Питание антенного блока осуществляется по антенному кабелю снижения. Разрешается использовать только кабель, входящий в комплект поставки. Подключение кабеля снижения к гнезду «Антенна» производится только при выключенном приемнике-синхронизаторе.

Для подключения компьютера к блоку «Acutime-2000» используется порт PS-422 на задней панели приемника VCH-311.

группировки NORAD для определения положения интересующих космических объектов.

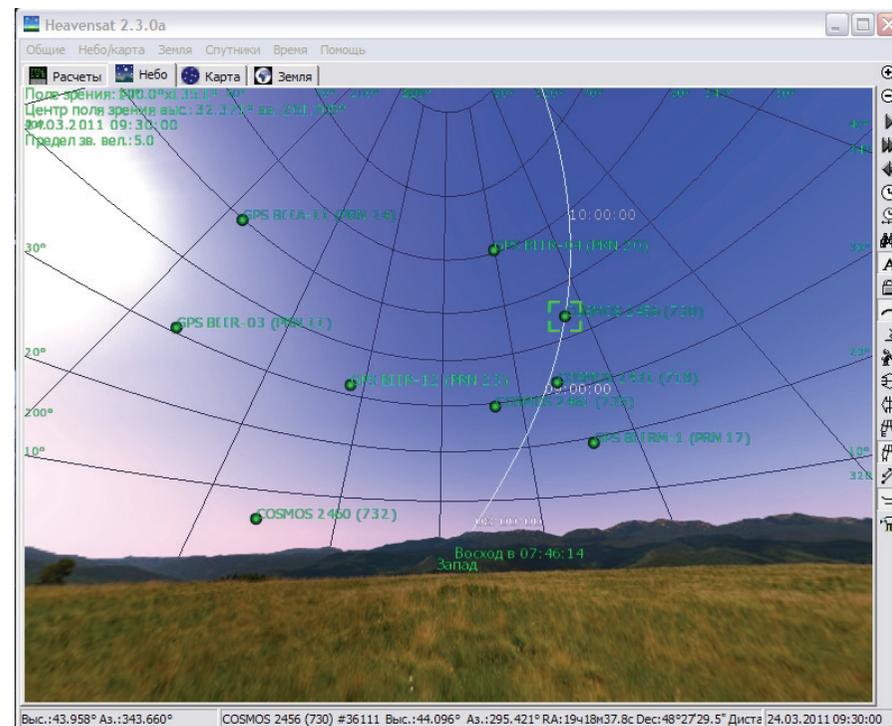


Рисунок 4 – Рабочее окно программы Heavensat.

Орбитальные элементы определяются для многих тысяч космических объектов из базы данных NORAD и свободно распространяются для дальнейшего использования в Интернете. Пример файла эфемерид приведен в таблице 4 для спутника системы ГЛОНАСС:

Таблица 4.

```
COSMOS 2448 (728)
1 33468U 08067C 11081.54486051 .00000021 00000-0 00000+0 0 6314
2 33468 64.3401 261.9517 0004155 336.8614 60.7248 2.13101566 17427
```

Файлы в формате TLE состоят из двух строк форматированного текста, которому предшествует строка с названием объекта. Данные в формате TLE расшифровываются следующим образом [10]:

Заголовок (необязательная строка)

Номер	Положение	Содержание
1	01-24	Название объекта

Строка 1 (обязательная)

Номер	Положение	Содержание
1	01-01	Номер строки
2	03-07	Номер спутника в базе данных NORAD
3	08-08	Классификация (U=Unclassified — без классификации)
4	10-11	Международное обозначение (последние две цифры года запуска)
5	12-14	Международное обозначение (номер запуска в этом году)
6	15-17	Международное обозначение (часть запуска)
7	19-20	Год эпохи (последние две цифры)
8	21-32	Время эпохи (целая часть — номер дня в году, дробная — часть дня)
9	34-43	Первая производная от среднего движения (ускорение), деленная на два
10	45-52	Вторая производная от среднего движения, деленная на шесть (подразумевается, что число начинается с десятичного разделителя)
11	54-61	Коэффициент торможения B^* (начало с десят. разд-ля)
12	63-63	Изначально - типы эфемерид, сейчас - всегда число 0
13	65-68	Число элементов
14	69-69	Контрольная сумма по модулю 10

«1 PPS EXT» внешний импульсный сигнал 1 Гц, по которому будет осуществляться синхронизация шкалы времени. Если внешний сигнал присутствует на входе, то на экране ЖК-индикатора при входе в меню «1Гц синхр» во второй строке будет отображаться информация о задержке между внешним сигналом и сигналом шкалы прибора в наносекундах.

Для выполнения синхронизации необходимо нажать на клавишу «7»; если синхронизация проведена успешно, то через 2 секунды в третьей строке экрана появится сообщение о выполнении синхронизации, которое будет высвечиваться 2 с и потом исчезнет.

Если внешний сигнал не подан на вход «1 PPS EXT», то в третьей строке на экране будет отображаться сообщение о его отсутствии, а клавиша «7» будет заблокирована.

Для возврата в меню «Управление» необходимо нажать «ESC».

Установка текущего времени – меню «Время». Данный пункт меню позволяет установить текущее время, отсчитываемое по встроенной шкале времени прибора и отображаемое на светодиодных индикаторах передней панели. Во второй строке экрана отображается подсказка формата установленного времени, в третьей строке можно вводить новое время, используя цифровые клавиши, для перемещения на одну позицию можно использовать «SHIFT». После того как новое время набрано, необходимо нажать «ENTER» для запуска счетчика с нового значения. Возврат в меню «Управление» - через «ESC».

Последовательность выключения VCH-1006: перевести тумблер на задней панели блока питания «ACCUM ON» в нижнее положение и снять напряжение 220 В. При выключении стандарта все установки режима его работы, кроме текущего времени, сохраняются в энергонезависимом запоминающем устройстве и восстанавливаются при последующем включении.

Работа с VCH-311. Приемник-синхронизатор имеет два режима работы: «Стандарт» и «Калибратор». Для пунктов РСДБ

- 6) Прибор обеспечивает:
- индикацию текущего времени в часах, минутах, секундах,
 - коррекцию текущего времени,
 - контроль напряжений: 2-й гармоники, высоковольтного источника, источника питания очистителя, питания ГВЧ, внешнего резервного источника питания,
 - контроль токов: высоковольтного источника, очистителя, ГВЧ;
 - контроль давления в источнике водорода.

7) **Прибор обеспечивает свои технические характеристики через 24 часа** после включения, включая время прогрева термостатов кварцевого генератора и водородного дискриминатора **или через 2 часа при прогретых термостатах.**

Управление работой VCH–1006 и контроль его состояния осуществляется в автоматическом режиме.

Для приведения прибора в рабочее состояние выполняются следующие действия. Подключить к прибору напряжение 220 ± 4.4 В, предварительно его заземлив, затем включить тумблер «АССИМ» на задней панели. При этом на 7-ми сегментном светодиодном индикаторе должно отобразиться текущее время, начиная с 00 час, 00 мин, 00 сек. Индикатор «ОТКАЗ» должен мигать, на ЖК индикаторе появится окно сообщений с информацией, что прибор находится в автоматическом режиме включения

Прогрев

Автоматич.управление

ENTER= МЕНЮ

Прибор входит в нормальный режим автоматически.

Для **проведения синхронизации шкалы времени** прибора внешним импульсом 1 Гц используется пункт меню «1Гц синхр». Перед выполнением данной операции надо подать на вход прибора

Строка 2 (обязательная)

Номер	Положение	Содержание
1	01-01	Номер строки
2	03-07	Номер спутника в базе данных NORAD
3	09-16	Наклонение в градусах
4	18-25	Долгота восходящего узла в градусах
5	27-33	Эксцентриситет (начало с десят. разд-ля)
6	35-42	Аргумент перицентра в градусах
7	44-51	Средняя аномалия в градусах
8	53-63	Частота обращения (оборотов в день)
9	64-68	Номер витка на момент эпохи
10	69-69	Контрольная сумма по модулю 10

Следует помнить, что приведенные в двустрочных элементах аргумент перицентра, наклонение и другие классические Кеплеровы элементы на самом деле ими не являются. Файлы в данном формате используются для расчёта положения объекта только по моделям SGP/SDP.

Функция обновления параметров орбит объектов встроена в интерфейс программы Heavensat, который позволяет осуществлять загрузку баз с сайтов www.space-track.org и www.CelesTrak.com. При подготовке эксперимента использовались регулярно обновляемые данные системы CELESTRAK [10], а именно: загружались файлы *gps-ops_YEAR_MM_DD.txt* и *glo-ops_YEAR_MM_DD.txt*, содержащие эфемериды спутников GPS и ГЛОНАСС соответственно на дату загрузки.

Программа Heavensat проводит расчёт точного положения (азимут и угол места) спутников на заданный пользователем момент (или интервал) времени для выбранного радиотелескопа и отображает их на стилизованной карте неба. Возможности программы позволяют сменить угол обзора и выполнить поиск конкретного объекта, а также проследить траекторию движения

объекта с течением времени (режим симуляции). Для каждого спутника в специальном окне выводится необходимая информация (наименование, международное обозначение, номер спутника в каталоге, его размеры, текущая эпоха, а также положение спутника в различных координатных системах.

На втором этапе, после составления расписания наблюдений, с помощью программы Heavensat необходимо рассчитать целеуказания.

Основные шаги при работе программы:

- 1) Запустить программу Heavensat.exe.
- 2) Указать координаты задействованных радиотелескопов и их часовой пояс: нажатием клавиши F10 осуществляется вход в окно «Настройки».
- 3) Загрузить базы спутников:
 - нажатием клавиш CTRL+B осуществляется вход в окно «Базы спутников»,
 - в левой части открывшегося окна выбрать нужную базу спутников или загрузить базы из Интернета нажатием клавиши «Действия» в левой нижней части окна;
 - выделить нужные спутники в средней части окна, кликом на правую кнопку мыши запустить команду «Добавить в список пользователя»;
 - нажать кнопку «ОК» в правой нижней части окна.
- 4) Открыть вкладку «Небо»,
- 5) Рассчитать целеуказания:
 - с помощью мыши выбрать спутник,
 - кликом на правую кнопку мыши из контекстного меню выбрать пункт «Эфемериды»,
 - в открывшемся окне установить необходимые параметры (начало, продолжительность, шаг);
 - нажать в нижней части окна кнопку «Рассчитать»,
 - для сохранения результатов расчета нажать кнопку «Сохранить».

- дождаться уменьшения тока насоса до 5 мкА, затем выключить насос;

- выключить тумблер «сеть» на передней панели прибора или питание прибора от источника 27 В на задней панели.

Работа с VCH–1006:

Основные технические характеристики:

- 1) номинальные значения частот выходных сигналов 1 Гц, 5МГц, 10 МГц, 100 МГц;
- 2) среднеквадратичное значение напряжения выходных сигналов 5, 10 и 100 МГц на нагрузке 50 Ом ($1 \pm 0,2$) В;
- 3) импульсный сигнал 1 Гц (шкала времени) имеет следующие параметры:
 - полярность положительная;
 - амплитуда импульсов – 2,5 В и не более 10 В на нагрузке 50 Ом,
 - длительность импульса – (15 ± 5) мкс,
 - длительность фронта импульса – 10 нс;
- 4) нестабильность частоты δf (относительное среднеквадратичное двухвыборное отклонение частоты выходного сигнала 5 МГц) для интервала времени измерения ΔT не более:

ΔT	1 с	10 с	100 с	1000 с	1 час	1 сутки
δf	$7,0 \cdot 10^{-13}$	$2,0 \cdot 10^{-13}$	$7,0 \cdot 10^{-14}$	$3,0 \cdot 10^{-14}$	$2,0 \cdot 10^{-14}$	$7,0 \cdot 10^{-15}$

- 5) параметры внешнего синхронизирующего импульса для выходного сигнала 1 Гц (шкала времени):
 - полярность положительная;
 - период следования 1 сек; длительность не менее 1 мкс, амплитуда не менее 2.5 В (на нагрузке 50 Ом), длительность фронта не более 30 нс,
 - погрешность синхронизации ± 50 нс.

Для включения пучка нужно нажать клавишу «3», для выключения клавишу «4»; затем включается генератор ВЧ нажатием клавиши «5», для выключения соответственно клавиши «6». После включения питания на все подсистемы стандарта возвращаемся в главное меню нажатием клавиши «ESC». После прогрева в течение 2 – 8 часов погаснет красная лампочка «авария», на ЖКИ появится надпись «Нормальная работа». Можно приступить к установке текущего времени и синхронизации внешним сигналом шкалы времени. Для установки текущего времени, индицируемого на светодиодном индикаторе, служит меню «Время»

1, 2, 3	час, мин, сек
4 / 5	Бол / Мень.
6 / 7	пуск / стоп

Для корректировки времени нужно прежде всего с помощью кнопок «1 - 3» выбрать единицы, которые надо изменить. Затем, нажимая кнопки «4» или «5», изменить установки. При необходимости часы можно остановить и снова пустить с помощью кнопок «6» или «7» соответственно. Для проведения синхронизации внешним сигналом шкалы времени, вырабатываемым стандартом, необходимо выбрать пункт «6» «синхронизация» меню режима «Управление». При этом на дисплее возникает подменю, состоящее из одного пункта

1. синхрониз 1 Hz

Нажатие кнопки «1» вызовет синхронизацию шкалы времени. Для возврата в меню «Управление» нужно нажать «ESC».

Последовательность выключения стандарта VCH–1005:

Для выключения стандарта выполняются следующие действия:
- войти в меню управления питанием и выключить сначала ГВЧ, затем источник молекулярного водорода (ПУЧ);

В результате в папке %\heavensat\Ephemeris\ будет сформирован текстовый файл, содержащий следующую информацию: время (часы, минуты, секунды), азимут (градусы), угол места (градусы), расстояние до объекта (км), видимые экваториальные координаты – прямое восхождение и склонение (в градусах) (таблица 5).

Таблица 5

2011 3 24 Эфемериды: COSMOS 2456 (730) #36111 #380
09 30 00 295.4211 044.0959 20663 289.6575 048.4582
09 31 00 295.7580 044.5705 20632 290.2301 048.9462

Процедура расчета координат выполняется отдельно для каждой антенны.

3.1. Программа *heav_sat_all_cu.mcd* (расчет целеуказаний)

Для расчёта целеуказаний для антенн РТ-14 «Старая Пустынь», РТ-15 «Зимёнки», РТ-2 «ННГУ» и рупорной антенны НИРФИ используется программа *heav_sat_all_cu.mcd*, в результате работы которой в специальной форме, требуемой для наведения антенн, выводятся значения азимута и угла места (в градусах и минутах) на каждую минуту скана. Для пункта «Зимёнки» дополнительно рассчитываются значения E1 и E2 (в градусах и минутах). При расчётах вводятся необходимые поправки наведения антенны в зависимости от зоны расположения источника.

Перед запуском программы нужно удалить из файлов, рассчитанных программой Heavensat, знак «#» Heavensat.

Основные шаги при работе программы:

- 1) Запустить файл *heav_sat_all_cu.mcd*. Откроется рабочее окно программы Mathcad.
- 2) Ввести имя файла, рассчитанного с помощью программы Heavensat.exe в переменную *A*, и имя файла с номерами спутников GLONASS и соответствующими частотными каналами в переменную *Flit* (желтые области).

Файлы, рассчитанные с помощью Heavensat.exe могут быть предварительно объединены в один файл, желательно, последовательно по времени наблюдений.

В качестве файла с указанием частотных каналов может использоваться файл freq_liter.txt (см. материалы экспериментов, например, nirfi12.2 и nirfi 12.3).

- 3) Указать полосу регистрации в переменной *df* (желтая область).
- 4) Для расчета целеуказаний пролистнуть файл до страницы 3 и нажать клавишу F9.
- 5) Выполнить запись данных в файлы (задействовать необходимую желтую область на стр. 3 файла heav_sat_all_cu.mcd – и еще раз нажать F9; для разблокировки нужной области кликом на правую кнопку мышки вызвать контекстное меню и выбрать «Enable»).

В результате работы программы сформируется два файла:

- файл с расписанием sch*.txt, содержащий названия объектов, моменты начала и конца записи, азимут и угол места на начало наблюдений и частоту второго гетеродина в МГц;
- файл с целеуказаниями с соответствующими поправками для каждой антенны.

3.2. Программа *satell_AD_track.mcd*: расчет целеуказаний для антенны *PT-70 «Евпатория»*

Для расчёта целеуказаний для антенны PT-70 «Евпатория» используется программа TRAKSTAR.EXE (см. п. 5.1.3), в результате которой формируются файлы RAD*.*, содержащие видимые значения (на текущую эпоху) прямого восхождения (часы) и склонения (градусы) на каждую минуту скана. Для создания файлов, используемых компьютером управления антенны PT-70, необходимо, чтобы прямое восхождение было представлено в часах, минутах, секундах, а склонение – в градусах, минутах, секундах на

В первой строке дается информация об отсутствии неисправностей, во второй – знаками «+» обозначено состояние «включено» соответственно магниторазрядного насоса (НАС), источника молекулярного водорода (ПУЧ), генератора высокой частоты (ГВЧ) и системы автоподстройки частоты кварцевого генератора (АПЧ) и резонатора дискриминатора (вторая звездочка после надписи АПЧ).

Нажатием кнопки «2» оператор вызывает появление на табло запроса

Введи код доступа
затем нажми
Enter

После ввода кода доступа «5» оператор получает доступ к управляющим функциям.

Выбрав соответствующий пункт главного меню и введя код доступа оператор получает возможность изменять режимы работы и установки стандарта. Меню верхнего уровня режима управления выглядит следующим образом:

1. Питание
2. Синтезатор 3. Резонатор
4. Квар. 5. Врем. 6. Синхр.

Подменю «Питание» позволяет включать/выключать магниторазрядный насос, пучок молекулярного водорода, генератор высокой частоты:

1/2	НАСОС	ON/OFF	+
3/4	ПУЧОК	ON/OFF	+
5/6	ГВЧ	ON/OFF	+
Ток насоса (мкА)			27

- 2) среднеквадратичное значение напряжения выходного сигнала 5 МГц на нагрузке 50 Ом (1 ± 0.2) В;
- 3) параметры сигнала 1 Гц на нагрузке 50 Ом
 - амплитуда не менее – 1.5 В,
 - длительность импульса – 10 – 20 мкс,
 - длительность фронта импульса – 30 нс;
- 4) нестабильность частоты выходного сигнала δf (среднеквадратичное отклонение частоты) при соответствующем времени усреднения ΔT не более:

ΔT	1 с	10 с	100 с	1000 с	1 час	1 сутки
δf	$1.5 \cdot 10^{-12}$	$4.0 \cdot 10^{-13}$	$1.0 \cdot 10^{-13}$	$5.0 \cdot 10^{-13}$	$2.0 \cdot 10^{-14}$	$1.0 \cdot 10^{-14}$

- 5) параметры внешнего синхронизирующего импульса для выходного сигнала 1 Гц:
 - полярность положительная;
 - период 1 сек; длительность не менее 2 мкс, амплитуда не менее 2.5 В (50 Ом),
 - погрешность синхронизации ± 200 нс.

В стандарте имеется индикация текущего времени (в часах, минутах, секундах), характеристика возникающих неисправностей, установка частоты перестраиваемого синтезатора. Стандарт обеспечивает технические характеристики после **времени установления рабочего режима равного 8 часам.**

После включения в случае отсутствия неисправностей в работе стандарта на табло лицевой панели высвечивается следующая информация

Нормальная работа			
НАС+	ПУЧ	ГВЧ	АПЧ
1.	измерения		
2.	управление		

каждую минуту скана. Для этого можно использовать программу `satell_AD_track.mcd`. Ниже представлен пример файла целеуказаний для объекта N29601, который используется системой наведения РТ-70:

```
NF NNIP NOBJ NINT NCADR DATAS y m d DATAF y m d
1 16 1 1 21 2011 09 20 2011 09 20
время восхождение зн. склонение параллакс дальность
13 35 00 14 34 55.560 + 36 03 39.600 00 00 00.000 0
13 36 00 14 36 48.600 + 35 36 03.960 00 00 00.000 0
13 37 00 14 38 40.200 + 35 08 22.920 00 00 00.000 0
```

3.3. Программа `vent_heav.exe`: расчет целеуказаний для антенны РТ-32 «Ирбене»

Для расчета целеуказаний для антенны Ирбене РТ-32 в форме, требуемой системой наведения, используется программа `vent_heav.exe`. Исходными данными для программы являются файлы с координатами, рассчитанные программой Heavensat.

Для запуска программы в командной строке набрать: `vent_heav.exe coord_heav.txt`, где: файл `coord_heav.txt` (текстовый файл) содержит исходные целеуказания.

В результате работы программы в текущем каталоге создается файл `progVN_*.txt`, который должен передаваться в систему управления РТ-32 `rt32main.exe`. Пример файла целеуказаний для антенны Ирбене РТ-32 приведен ниже:

```
// VENTSPILS RT32
// object 29486
2012/4/10 8.10000 57.81400 35.30850
2012/4/10 8.11667 57.33800 35.13570
2012/4/10 8.13333 56.86700 34.95760
// The end of program
```

4. Подготовка приёмного комплекса

Комплектация приёмных РСДБ комплексов ФГБНУ НИРФИ практически идентична для всех пунктов. Общая схема, схемы отдельных подсистем и частичное описание их функционирования даны в работах [1, 2]. Здесь приводятся инструкции по вводу комплексов в работу, поскольку предполагается задействование в экспериментах от трех до пяти приёмных пунктов с ограниченным персоналом.

4.1. Система синхронизации

РСДБ-комплекс ФГБНУ НИРФИ оснащен водородными стандартами частоты и времени VCH-1005 и VCH-1006 и рубидиевым VCH-311 стандартом частоты с синхронизацией местных шкал времени по сигналам СРНС GPS.

Синхронизация времени в приёмных пунктах РСДБ интерферометра производится по схемам, приведенным на рис. 5 а, б.

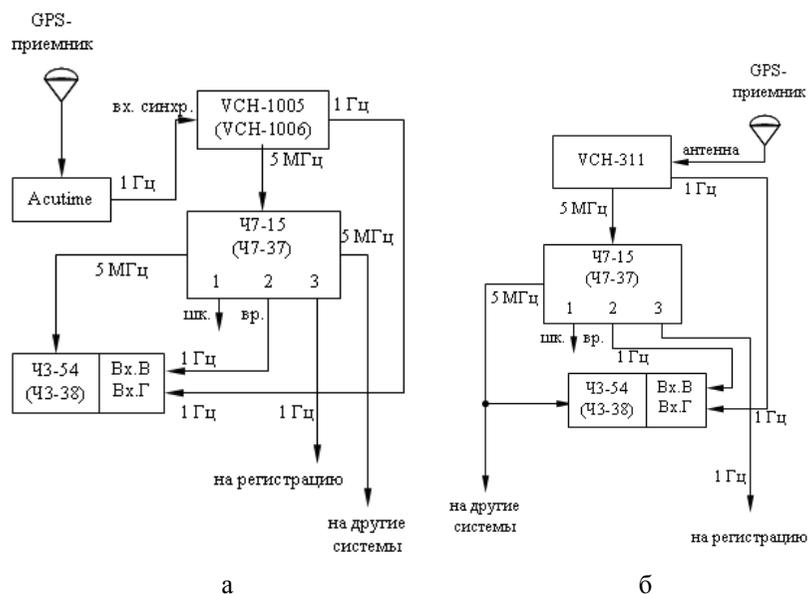


Рисунок 5 – Схемы синхронизации времени в приёмных пунктах РСДБ

Сигналы точного времени принимаются приёмниками GPS «Acutime-2000», сигнал 1 Гц с приемника подается на вход синхронизации водородных стандартов частоты и времени. Для стандарта VCH-311 сигналы привязки поступают с антенны GPS, которая подключается ко входу приемника «Антенна» на задней панели стандарта. В качестве буферных блоков для формирования высокостабильных сигналов 5 МГц и 1 Гц используются синхронометры Ч7-15 или Ч7-37. Сигнал 5 МГц используется для формирования сигналов первого и второго гетеродинов приёмной системы. Сигнал 1 Гц подается на систему регистрации для синхронизации потока регистрируемых данных.

Для контроля стабильности привязки времени сигналы 1 Гц с буферного блока и стандарта частоты поступают на субблок измерения временных интервалов частотомера Ч3-54 (или Ч3-38). При положении «Интер.В-Г» переключателя «Род работы» на индикаторе частотомера высвечивается разность времени синхронометра и стандарта. Для сведения разности времен до значений порядка нескольких микросекунд на буферном синхронометре согласно инструкции выставляется время, и с помощью блока коррекции «задержка» секунда с буфера подгоняется к секунде стандарта частоты и времени, засинхронизованной от секунды системы GPS.

Все стандарты частоты работают от стабилизированной сети 220 В, **работа без защитного заземления не допускается.**

Работа с VCH-1005. Стандарт частоты и времени водородный предназначен для использования в качестве источника высокостабильных сигналов для время-частотных измерений и для работы в эталонных, образцовых и рабочих средствах измерения и системах связи.

Основные технические характеристики:

- 1) номинальные значения частот выходных сигналов 1 Гц, 5 МГц, 10 МГц;