

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«МЭИ»**

**ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ**

**КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**АППАРАТУРА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ  
СИСТЕМ**

## **КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**ФИО СТУДЕНТА: ПОТРИКЕЕВА А.А.**

**ГРУППА: ЭР-15-15\_\_\_\_\_**

**ВАРИАНТ №: 13\_\_\_\_\_**

**ДАТА:\_\_\_\_\_**

**ПОДПИСЬ: \_\_\_\_\_**

**ФИО ПРЕПОДАВАТЕЛЯ: КОРОГОДИН И.В.**

**ОЦЕНКА: \_\_\_\_\_**

**МОСКВА, 2020 Г.**

## Содержание

Введение .....	3
1 Этап 1. Использование сторонних средств .....	3
1.1 Использование программы RTKNAVI из пакета RTKLIB .....	4
1.2 Использование программы RTKCONV из пакета RTKLIB .....	8
1.3 Использование ресурса Trimble GNSS Planning Online .....	10
Заключение .....	15

## Введение

Техническая цель - добавление в программное обеспечение приемника функции расчета положения спутника ГЛОНАСС на заданное время по данным его эфемерид.

Для достижения цели выполняется ряд задач:

- обработка данных от приемника ГНСС в RTKLIB для проверки входных данных и формирования проверочных значений;
- обработка данных и моделирование в Matlab/Python для эскизного проектирования модуля;
- реализация программного модуля на C/C++, включая юнит-тестирование в Check.

Требования:

- отсутствие утечек памяти;
- малое время выполнения;
- низкий расход памяти;
- корректное выполнение при аномальных входных данных.

Среда взаимодействия:

- Взаимодействие осуществляется через github .

Курсовой проект разбит на три этапа, отличающиеся осваиваемыми инструментами.

Конечная цель проекта - получить библиотечные функции на Си++, позволяющие рассчитывать положение спутника ГЛОНАСС по эфемеридам.

### 1 Этап 1. Использование сторонних средств

На крыше корпуса Е МЭИ установлена трехдиапазонная антенна Narxon HX-CSX601A. Она через 50-метровый кабель, сплиттер, bias-tee и усилитель подключена к трем навигационным приемникам:

- Javad Lexon LGDD,
- SwiftNavigation Piksi Multi,
- Clonicus разработки ЛНС МЭИ.

Приемники осуществляют первичную обработку сигналов, выдавая по интерфейсам соответствующие потоки данных - наблюдения псевдодальностей и эфемериды спутников. В этом году вы будете

обрабатывать данные от приемника Clonicus, представленные в бинарном виде в формате NVS BINR.

На этом этапе мы получаем входные данные для этой функции - сами эфемериды.

Для этого воспользуемся пакетом RTKLIB, в состав которого входит парсер формата NVS BINR и удобные средства отображения данных.

RTKLIB - это программный пакет с открытым исходным кодом для стандартного и точного позиционирования с ГНСС. RTKLIB состоит из переносимой библиотеки программ и нескольких точек доступа (приложение программы) с использованием библиотеки. Особенности RTKLIB:

- Он поддерживает стандартные и точные алгоритмы позиционирования с GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS, BeiDou и SBAS;
- Он поддерживает различные режимы позиционирования с GNSS как в режиме реального времени, так и в режиме пост-обработки.
- Он поддерживает множество стандартных форматов и протоколов для GNSS (RINEX /OBS / NAV / GNAV / HNAV / LNAV / QNAV и т.д.).

Скачиваем RTKLIB с официального сайта <http://www.rtklib.com>.

### 1.1 Использование программы RTKNAVI из пакета RTKLIB

Используем программу RTKNAVI для того, чтобы вывести таблицу эфемерид. Для этого либо выбираем в `save_dir\rtklib_2.4.2\bin` `rtklaunch.exe`, после чего видим окно показанное на рисунке 1 и выбираем в нем RTKNAVI, или в той же директории сразу выбираем `rtknavi.exe` и сразу видим основное окно RTKNAVI (рис. 2).

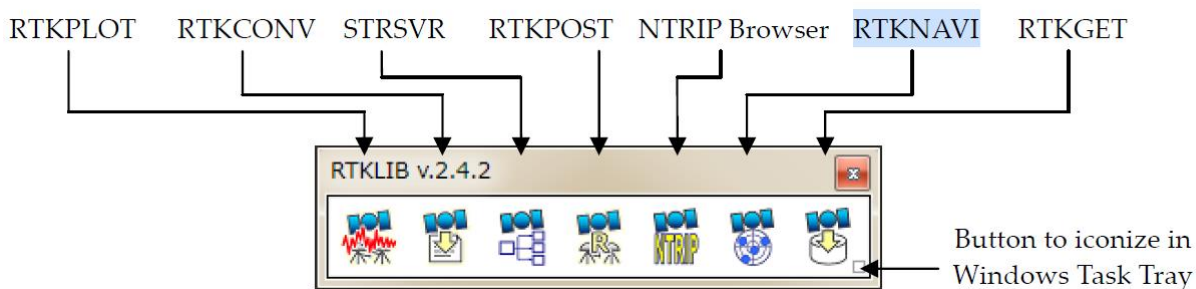


Рисунок 1 – Окно выбора программ из пакета RTKLIB

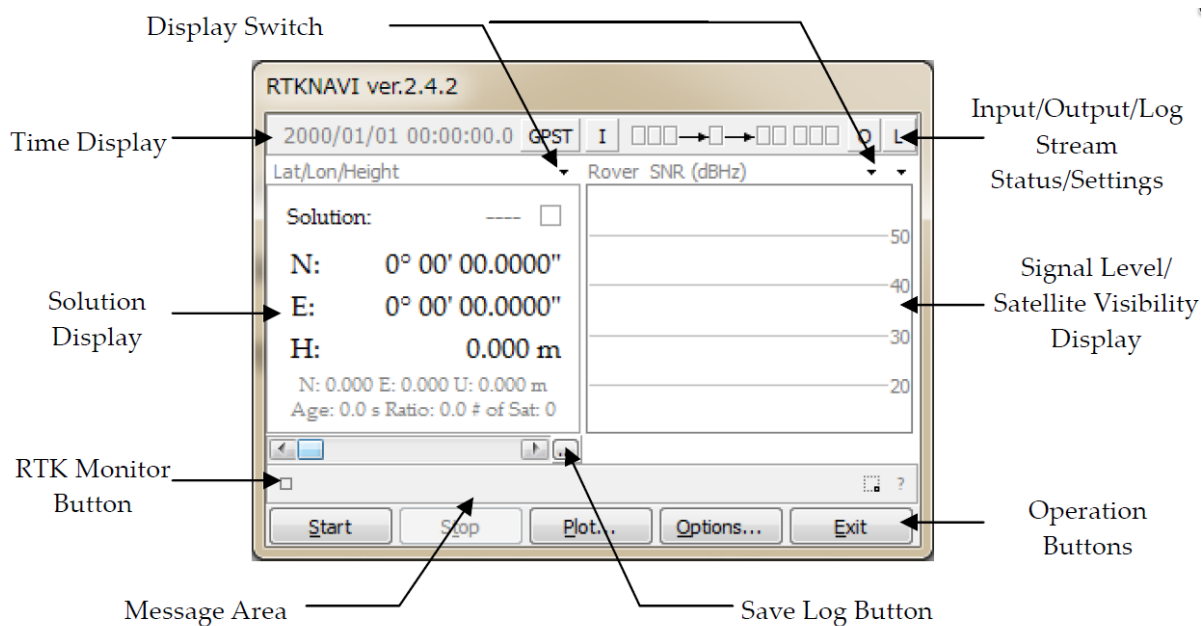


Рисунок 2 – Основное окно программы RTKNAVI

Программа RTKNAVI позволяет вывести таблицу текущих и предыдущих эфемерид. Для этого открываем вкладку RTK Monitor (рис. 3) и выбираем во всплывающем окне Nav GLONASS. Однако если сразу попытаться это сделать, то все параметры для спутников будут нулевыми (рис. 4). Это обуславливается тем, что мы не задали файл с сырыми измерениями.

RTKNAVI ver.2.4.2 (7): RTK Monitor		Close
RTK	Value	
RTK	2.4.2	
Obs Data		
Nav GPS	1172	
Nav GLONASS	Stop	
Nav Galileo	10	
Nav QZSS	Kinematic	
Nav BeiDou	L1+L2	
Nav GEO	15	
Time/Iono	0,0,0,0,0,0,0,0	
Streams	0,0,0,0,0,0,0,0	
Sat GPS	0,0,0,0,0,0,0,0	
Sat GLONASS	0,0,0,0,0,0,0,0	
Sat Galileo	0,0,0,0,0,0,0,0	
Sat QZSS	0,0,0,0,0,0,0,0	
Sat BeiDou	OFF,OFF	
Sat GEO	Broadcast,Saastamoinen	
States	Broadcast	
Covariance	GLONASS	
SBAS Msgs	00:00:00.0	
SBAS Long	1	
SBAS Iono	0	
SBAS Fast	0,0,0	
RTCM Msgs	Obs(0),Nav(11),Gnav(56),Ion(0),Sbs(0),Pos(0),Dgps(0),Ssr(0),Lex(0),Err(0)	
RTCM DGPS	Obs(0),Nav(0),Gnav(0),Ion(0),Sbs(0),Pos(0),Dgps(0),Ssr(0),Lex(0),Err(0)	
RTCM SSR	Obs(0),Nav(0),Gnav(0),Ion(0),Sbs(0),Pos(0),Dgps(0),Ssr(0),Lex(0),Err(0)	
LEX Msgs	-	
LEX Eph/Clock	-	
LEX Iono	0.000000000	
Iono Correction	0.000	
(1) Rover	0.000	
(2) Base Station	0.000	
(3) Correction	0.000	
(4) Solution1	0.000	
(5) Solution2	0.000	
Error/Warning	0.000	
Age of Differential (s)	0.000	
Ratio for AR Validation	0.000	
# of Satellites Rover	0	
# of Satellites Base/NRTK Station	0	
# of Valid Satellites	0	
GDOP/PDOP/HDOP/VDOP	0.0,0.0,0.0,0.0	
# of Real Estimated States	3	
# of All Estimated States	291	
Pos X/Y/Z Single (m) Rover	0.000,0.000,0.000	
Lat/Lon/Height Single (deg,m) Rover	0.00000000,0.00000000,0.000	
Vel E/N/U (m/s) Rover	0.000,0.000,0.000	
Pos X/Y/Z Float (m) Rover	0.000,0.000,0.000	
Pos X/Y/Z Float Std (m) Rover	0.000,0.000,0.000	
Pos X/Y/Z Fixed (m) Rover	0.000,0.000,0.000	
Pos X/Y/Z Fixed Std (m) Rover	0.000,0.000,0.000	
Pos X/Y/Z (m) Base/NRTK Station	0.000,0.000,21384.686	
Lat/Lon/Height (deg,m) Base/NRTK Station	90.00000000,0.00000000,-6335367.628	
Vel E/N/U (m/s) Base/NRTK Station	0.000,0.000,0.000	
Antenna Type Rover		
Ant Phase Center L1 E/N/U (m) Rover	0.000,0.000,0.000	
Ant Phase Center L2 E/N/U (m) Rover	0.000,0.000,0.000	
Ant Delta E/N/U (m) Rover	0.000,0.000,0.000	
Antenna Type Base/NRTK Station		
Ant Phase Center L1 E/N/U (m) Base/NRTK S	0.000,0.000,0.000	
Ant Phase Center L2 E/N/U (m) Base/NRTK S	0.000,0.000,0.000	
Ant Delta E/N/U (m) Base/NRTK Station	0.000,0.000,0.000	
Precise Ephemeris Time/# of Epoch	--- (0)	
Precise Ephemeris Download Time	-	
Precise Ephemeris Download File		

Рисунок 3 – Вкладка RTK Monitor

RTKNAVI ver.2.4.2 (7): RTK Monitor

Nav GLONASSAllCurrent

Close

SAT	PRN	Statu	IOD	Freq	Hea	Age	Toe	Tof	X (m)	Y (m)	Z (m)	VX (m/s)	VY (m/s)	VZ (m/s)	AX (m/s <sup>2</sup> )	AY (m/s <sup>2</sup> )	AZ (m/s <sup>2</sup> )	Tau (ns)	Gamma (ns)
R01	1	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R02	2	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R03	3	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R04	4	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R05	5	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R06	6	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R07	7	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R08	8	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R09	9	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R10	10	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R11	11	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R12	12	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R13	13	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R14	14	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R15	15	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R16	16	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R17	17	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R18	18	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R19	19	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R20	20	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R21	21	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R22	22	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R23	23	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000
R24	24	-	-	0	0	0	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0	0.0000

Рисунок 4 – Текущие эфемериды, файл сырых измерений отсутствует

Для того, что бы задать файл сырых измерений перейдем во вкладку Input Stream (рис. 5), выбираем тип входного файла и указываем к нему путь. После чего вновь вызываем RTK Monitor и видим текущие эфемериды для группировки ГЛОНАСС (рис. 6).

Input Streams

Input Stream

Type

Opt Cmd

Format

Opt

☒ (1) Rover

File

...

...

NVS BINR

...

☐ (2) Base Station

Serial

...

...

RTCM 2

...

☐ (3) Correction

Serial

...

...

RTCM 2

...

Transmit NMEA GPGGA to Base Station

OFF

0.000000000

0.000000000

...

Input File Paths

C:\Project\BINR.bin

...

...

...

☐ Time

x1

+

0

s

OK

Cancel

Рисунок 5 – Вкладка Input Stream

RTKNAV! ver.2.4.2 (7): RTK Monitor

Nav GLONASS

All

Current

Рисунок 6 – Текущие эфемериды

## 1.2 Использование программы RTKCONV из пакета RTKLIB

Программа RTKCONV позволяет конвертировать бинарный файл в текстовый формат RINEX, в частности получить текстовый gnaw-файл с эфемеридами ГЛОНАСС.

Для вызова программы выбираем в `save_dir\rtklib_2.4.2\bin` `rtklaunch.exe`, после чего видим окно показанное на рисунке 1 и выбираем в нем RTKCONV, или в той же директории сразу выбираем `rtkconv.exe` и сразу видим основное окно RTKCONV (рис. 7).

При желании можно установить время начала или окончания, проверив и установив «Time Start (GPST)» или «Time End (GPST)» (поле вверху в главном окне). Если навести на вопросительный знак, то можно подробнее узнать о конкретном времени и конкретной временной шкале (рис. 8).



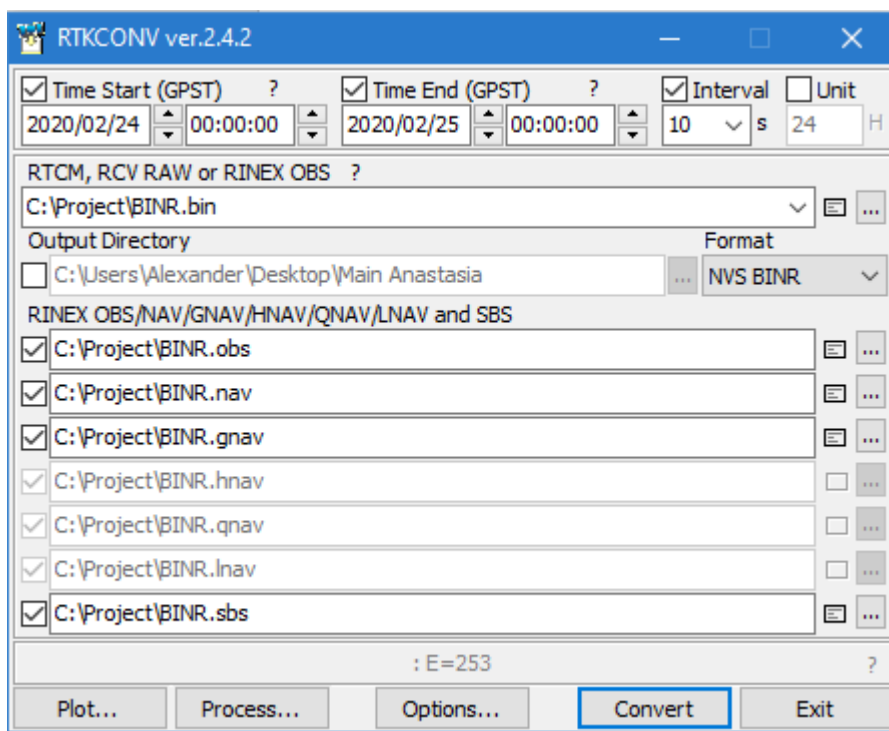


Рисунок 7 – Основное окно RTKCONV

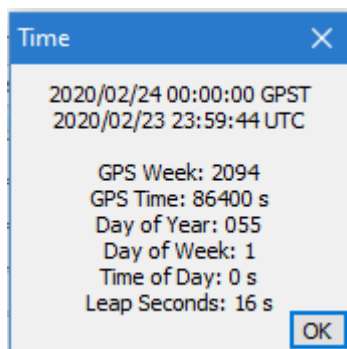


Рисунок 8 – Дополнительная информация о времени в программе RTKCONV

Для конвертирования исходного файла, необходимо указать к нему путь, его формат и, по желанию, установить дополнительные настройки во вкладке Options (рис. 10). После завершения настройки необходимо нажать кнопку Convert. После завершения конвертирования откроем файл с расширением .gnav, рисунок 9.

```

2.10      GLONASS NAV DATA      RINEX VERSION / TYPE
RTKCONV 2.4.3 b33              20200304 192529 UTC PGM / RUN BY / DATE
log: C:\Project\BINRR.bin      COMMENT
format: NVS BINR              COMMENT
END OF HEADER
3 20 2 10 13 45 0.0 .979844480753E-05 .000000000000E+00 .495000000000E+05
.230369506836E+05 .755860328674E+00 .558793544769E-08 .000000000000E+00
-.909117333984E+04 -.358527193533E+00 .000000000000E+00 .500000000000E+01
.604105902032E+04 -.344796649414E+01 -.279396772385E-08 .000000000000E+00
4 20 2 10 13 45 0.0 .383099541068E-04 .181898940355E-11 .495000000000E+05
.101926743164E+05 .259978675842E+01 .186264514923E-08 .000000000000E+00
-.123675654297E+05 -.789661407471E+00 .931322574615E-09 .600000000000E+01
.198668793945E+05 -.182775783539E+01 -.279396772385E-08 .000000000000E+00
5 20 2 10 13 45 0.0 .447621569037E-04 .909494701773E-12 .495000000000E+05
-.844457226562E+04 .298360347748E+01 -.279396772385E-08 .000000000000E+00
-.866495751953E+04 -.743769645691E+00 .186264514923E-08 .100000000000E+01
.224664541016E+05 .832836151123E+00 -.186264514923E-08 .000000000000E+00
11 20 2 10 13 45 0.0 -.130040571094E-04 -.909494701773E-12 .495000000000E+05
-.626732666016E+04 .104972839355E+00 -.279396772385E-08 .000000000000E+00
.246952080078E+05 .124883651733E+00 -.279396772385E-08 .000000000000E+00
.652946386719E+03 .355901241302E+01 .931322574615E-09 .000000000000E+00
12 20 2 10 13 45 0.0 .104511156678E-03 .363797880709E-11 .495000000000E+05
.265620214844E+04 -.453223228455E+00 -.186264514923E-08 .000000000000E+00
.195961059570E+05 .216242790222E+01 -.186264514923E-08 -.100000000000E+01
.161521601562E+05 -.254974460602E+01 -.186264514923E-08 .000000000000E+00
13 20 2 10 13 45 0.0 -.346247106791E-04 .000000000000E+00 .495000000000E+05
.105849692383E+05 -.788876533508E+00 .000000000000E+00 .000000000000E+00
.272171386719E+04 .305868911743E+01 .000000000000E+00 -.200000000000E+01
.230270966797E+05 .150871276855E-02 -.372529029846E-08 .000000000000E+00
14 20 2 10 13 45 0.0 .479789450765E-04 .000000000000E+00 .495000000000E+05
.122349252930E+05 -.683955192566E+00 .186264514923E-08 .000000000000E+00
-.154207099609E+05 .211544322968E+01 .931322574615E-09 -.700000000000E+01
.162340239258E+05 .252534008026E+01 -.279396772385E-08 .000000000000E+00
21 20 2 10 13 45 0.0 -.10399960585E-03 -.272848410532E-11 .495000000000E+05
-.119983383789E+05 -.215628238678E+01 -.558793544769E-08 .000000000000E+00
.226866650391E+04 -.214476013184E+01 .931322574615E-09 .400000000000E+01
.223992788086E+05 .961576461792E+00 -.186264514923E-08 .000000000000E+00
22 20 2 10 13 45 0.0 -.134212896228E-04 -.181898940355E-11 .495000000000E+05
.311761962891E+04 -.179497814178E+01 -.186264514923E-08 .000000000000E+00

```

Рисунок 9 – Текстовый файл с эфемеридами ГЛОНАСС

The Options dialog box contains the following settings:

- RINEX Version:** 2.10
- Station ID:** 0000
- RINEX Name:** (unchecked)
- RunBy/Obsv/Agency:** (empty fields)
- Comment:** (empty field)
- Maker Name/#/Type:** (empty fields)
- Rec #/Type/Vers:** (empty fields)
- Ant #/Type:** (empty field)
- Approx Pos XYZ:** (unchecked), 0.0000, 0.0000, 0.0000
- Ant Delta H/E/N:** 0.0000, 0.0000, 0.0000
- Scan Obs Types:** (unchecked)
- Iono Corr:** (unchecked)
- Time Corr:** (unchecked)
- Leap Sec:** (unchecked)
- Satellite Systems:** GPS (unchecked), GLO (checked), Galileo (unchecked), QZSS (unchecked), SBAS (unchecked), BeiDou (unchecked)
- Excluded Satellites:** (empty field)
- Observation Types:** C (checked), L (checked), D (checked), S (checked)
- Frequencies:** L1 (checked), L2 (checked), L5/L3 (unchecked), L6 (unchecked), L7 (unchecked), L8 (unchecked)
- Mask...:** (button)
- Option:** (empty field)
- Debug:** OFF
- Buttons:** OK, Cancel

Рисунок 10 – Вкладка Options программы RTKCONV

### 1.3 Использование ресурса Trimble GNSS Planning Online

Trimble GNSS Planning Online это онлайн программа предназначенная для определения основных характеристик спутникового GNSS покрытия. Пользователю нужно ввести координаты места (вручную или графически),

маску угла возвышения, дату и промежуток времени, а также указать интересные созвездия (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou и QZSS) или спутники. Устанавливаем необходимые параметры (рис. 11), нажимаем Apply и видим что настройки приняты (рис. 12).

Settings

Latitude: N 55° 45' 23.5896"

Longitude: E 37° 42' 11.5028"

Height: 500 m

Elevation cutoff: 10 °

Day: 10.02.2020 Today

Start time: 12:00 UTC +00:00

Period [hours]: 12

Time zone: (UTC) Coordinated Universal Time

Apply

Рисунок 11 – Страница Settings онлайн сервиса Trimble GNSS Planning Online

Satellite Selection

Satellites: 22/137

System: active		Satellites	
		Selected	Healthy
GPS	✗	0	31
GLONASS	✓	22	22
Galileo	✗	0	22
BeiDou	✗	0	48
QZSS	✗	0	4
IRNSS	✗	0	6

My Settings

Change settings

Time of almanac:

2020-02-10

Time zone:

UTC +00:00

Visible period:

2020-02-10 12:00 - 2020-02-11 00:00

Latitude:

N 55° 45' 23.5896"

Longitude:

E 37° 42' 11.5028"

Height:

500 m

Elevation cutoff:

10 °

Рисунок 12 – Установленные настройки

Далее переходим на страницу Satellite Library и выбираем спутник указанный для своего варианта (13 КА системы ГЛОНАСС), рисунок 13.

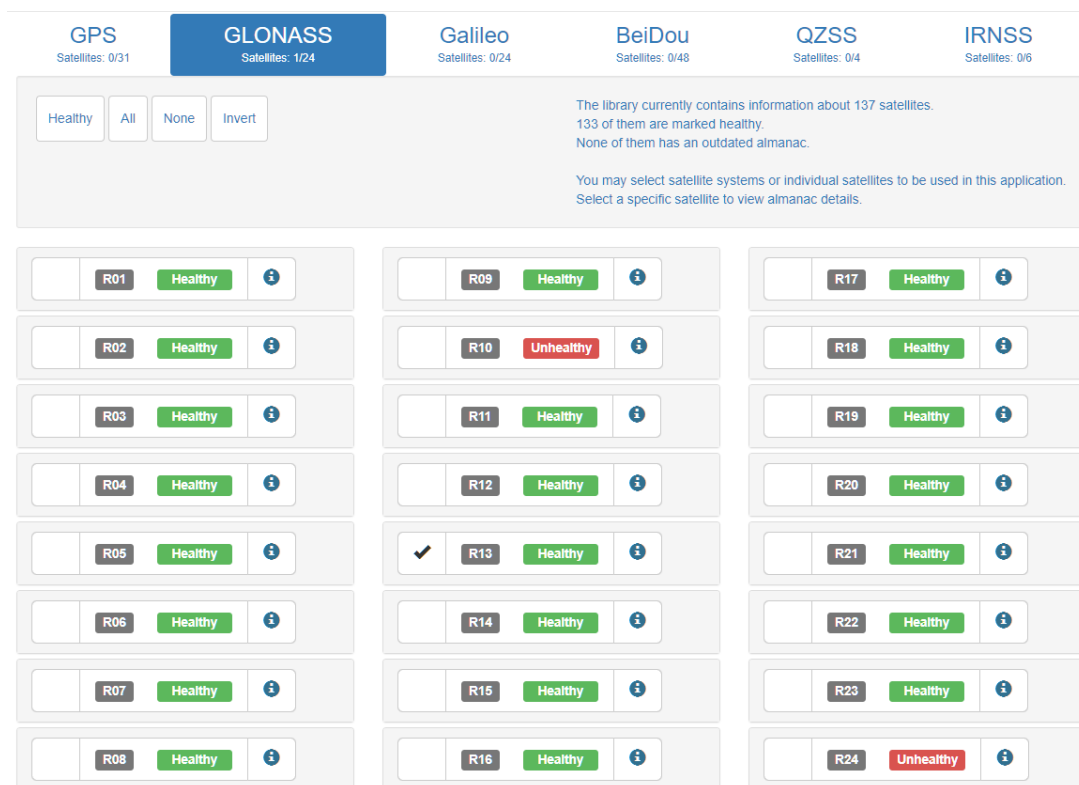


Рисунок 13 – Выбор исследуемого космического аппарата системы ГЛОНАСС

Переходим во вкладку Charts и снимаем график угла места, рисунок 14.

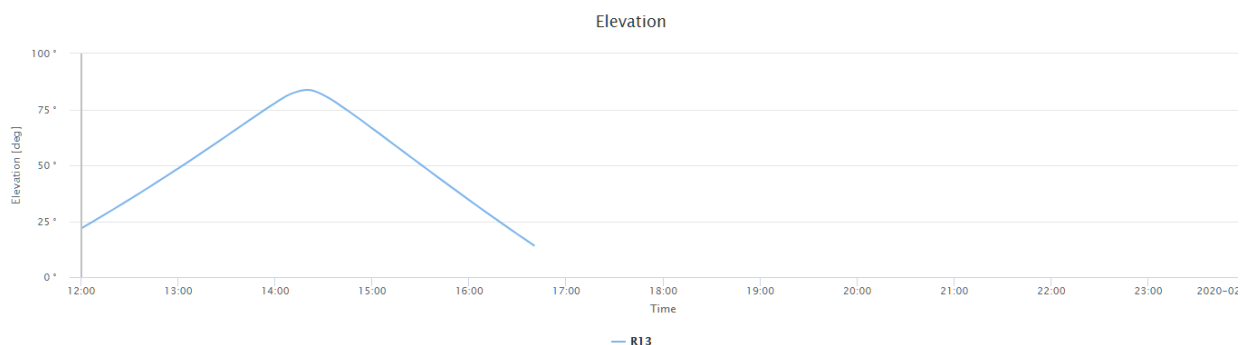


Рисунок 14 – График угла места 13-го космического аппарата системы ГЛОНАСС

Далее необходимо зафиксировать Sky View, для этого переходим во вкладку Sky Plot, рисунки 15-16.

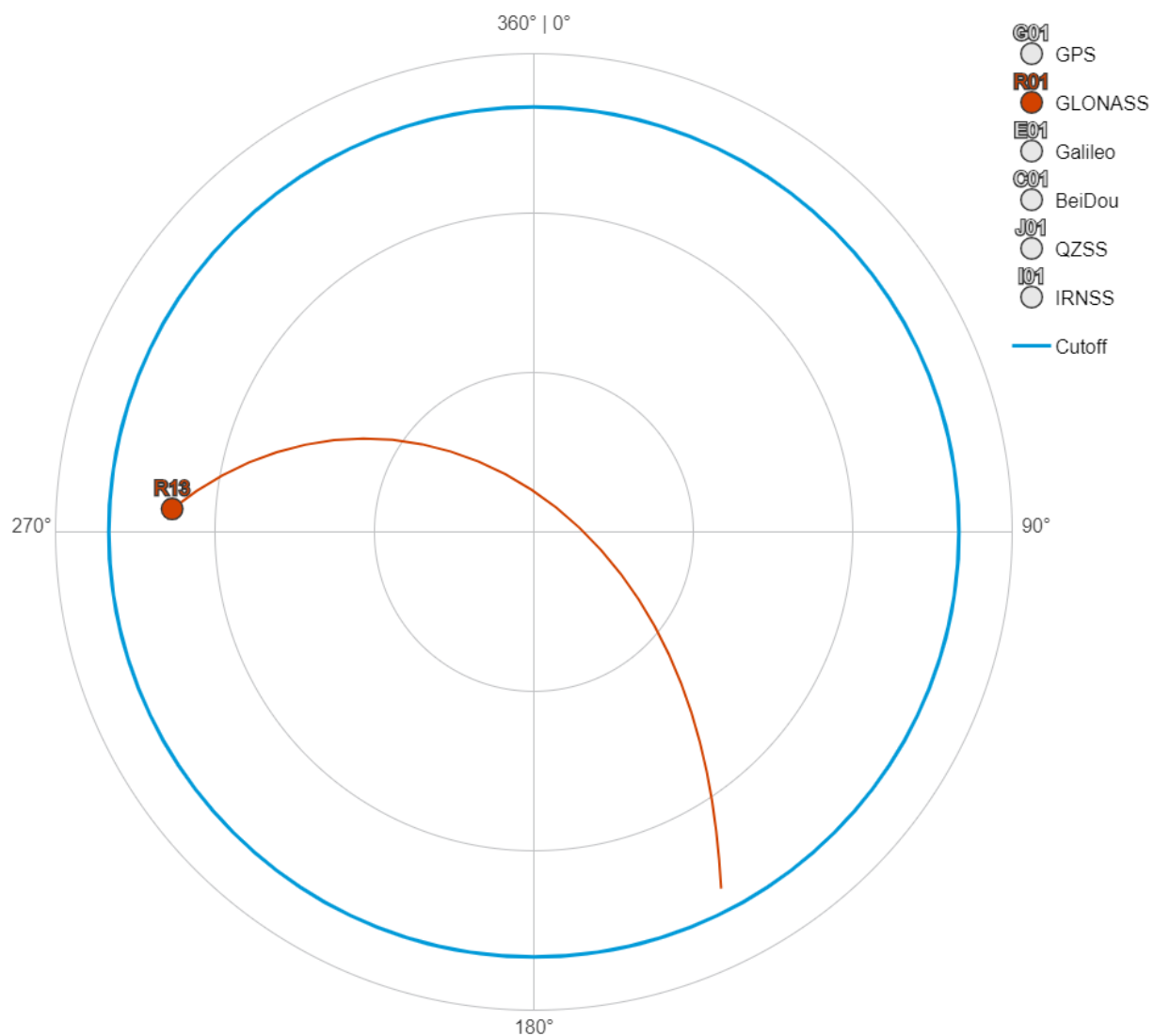


Рисунок 15 – Sky Plot для 13 космического аппарата системы ГЛОНАСС

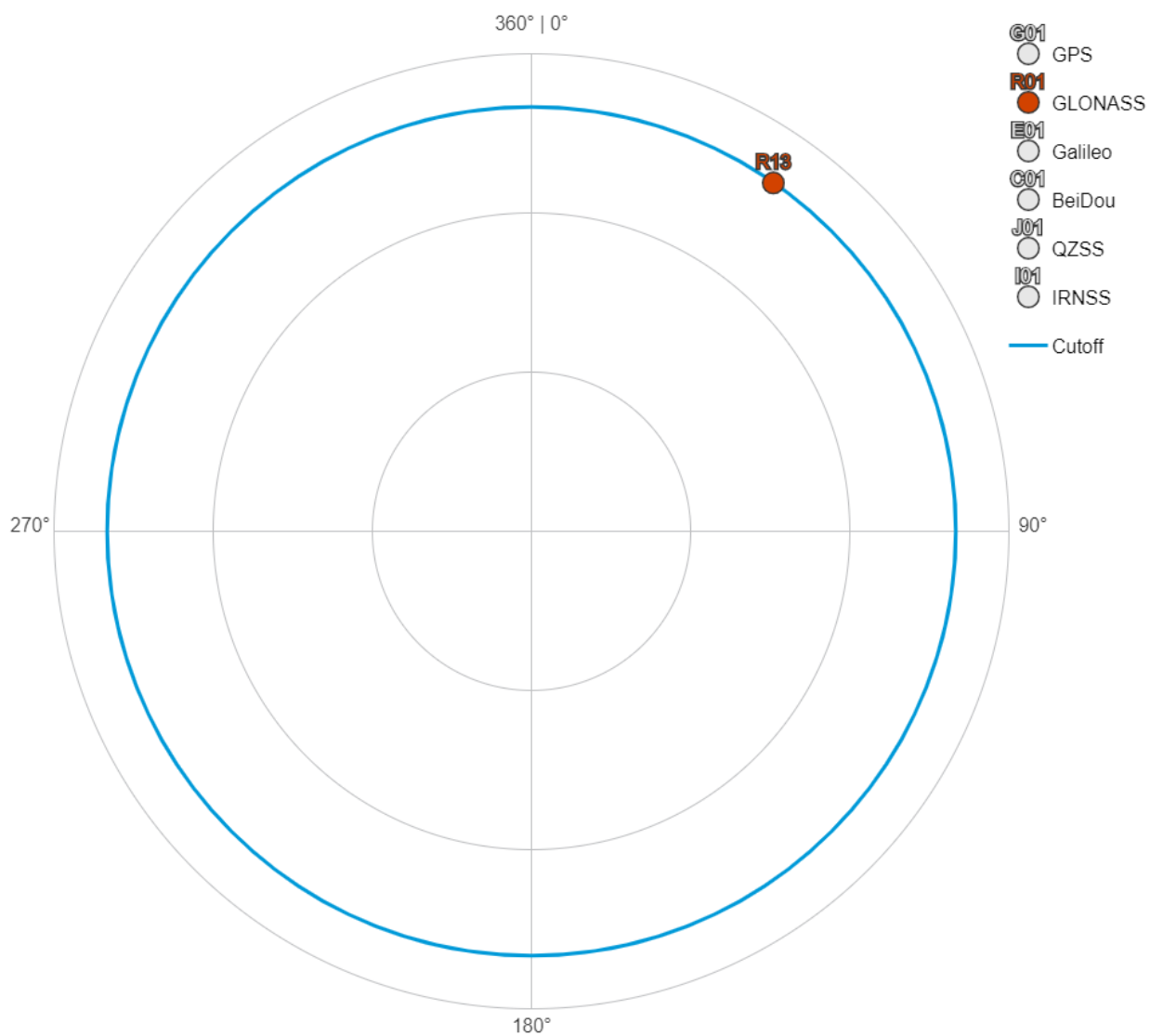


Рисунок 16 – Sky Plot для 13 космического аппарата системы ГЛОНАСС

## Заключение

По завершению первого этапа выполнены следующие задачи:

1. Ознакомилась и поработала с программным пакетом RTKLIB;
2. Получены эфемериды собственного спутника по данным RTKNAVI из состава RTKLIB;
3. Получены эфемериды собственного спутника в gnav-файле RINEX;
4. Построен график угла места собственного спутника от времени по данным Trimble GNSS Planning Online на заданный интервал времени;
5. Получен SkyView по данным Trimble GNSS Planning Online на заданный интервал времени.