

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»**

ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

**«АППАРАТУРА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ
СИСТЕМ»**

ФИО СТУДЕНТА: ТАСКАНОВ В.Е.

Группа: ЭР-15-16

ВАРИАНТ №: 13

Дата: _____

Подпись: _____

ФИО ПРЕПОДАВАТЕЛЯ: КОРОГОДИН И.В.

Оценка: _____

МОСКВА, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОРОННИХ СРЕДСТВ	4
1.1. Описание задания.....	4
1.2. Определение формы орбиты и положения спутника на ней с помощью сервиса CelesTrak.....	6
1.3. Расчет графика угла места собственного спутника от времени по данным Trimble GNSS Planning Online	7
1.4. Расчет диаграммы угла места и азимута спутника (SkyView, он же SkyPlot) по данным Trimble GNSS Planning Online	9
1.5. Формирование списка и описание параметров, входящих в состав эфемерид	12
1.6. Формирование таблицы эфемерид собственного спутника	13
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	15

ВВЕДЕНИЕ

Спутниковые радионавигационные системы (СРНС) являются самыми точными системами по определению координат потребителя. Они стали важной частью в различных сферах нашей жизни. Наиболее распространенными являются системы ГЛОНАСС (Россия), GPS (США), Galileo (Евросоюз), Beidou (Китай).

Цель проекта - добавление в программное обеспечение приемника функции расчета положения спутника Beidou на заданное время по данным его эфемерид.

Требования к разрабатываемому программному модулю:

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

Для достижения цели выполняется ряд задач, соответствующих этапам проекта и контрольным мероприятиям:

- обработка данных от приемника, работа со сторонними сервисами для подготовки входных и проверочных данных для разрабатываемого модуля;
- моделирование модуля в Matlab/Python;
- реализация программного модуля на C/C++, включая юнит-тестирование в Check.

Конечная цель всего курсового проекта - получить библиотеку функций на «C++», позволяющую рассчитывать положение спутника Beidou по его эфемеридам.

ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОРОННИХ СРЕДСТВ

1.1. Описание задания

В задании дан номер спутника BEIDOU, в моем варианте – C24, а также бинарный и текстовый файл со значениями эфемерид для различных спутников, полученный от трехдиапазонной антенны Narxon HX-CSX601A, установленной на крыше корпуса Е МЭИ. 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.

Эти приемники осуществляют первичную обработку сигналов Beidou B1I, выдавая по интерфейсам соответствующие потоки данных - наблюдения псевдодальностей и эфемериды спутников. Данные от приемника Clonicus, записанные вечером 16 февраля 2021 года.

Определим с помощью «Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения» [1] номер НОРАД¹ и сравним его с номером из «Википедии» [2]:

¹ НОРАД(SCN) - номер по спутниковому каталогу представляет собой уникальный пятизначный идентификационный номер искусственных спутников Земли.

PRN	НОРАД	Тип КА	Тип системы	Дата запуска	Факт. сущ. (дней)	Примечание
C01	44231	GEO-8	BDS-2	17.05.19	653	Используется по ЦН
C02	38953	GEO-6	BDS-2	25.10.12	3048	Используется по ЦН
C03	41586	GEO-7	BDS-2	12.06.16	1722	Используется по ЦН
C04	37210	GEO-4	BDS-2	01.11.10	3772	Используется по ЦН
C05	38091	GEO-5	BDS-2	25.02.12	3291	Используется по ЦН
C06	36828	IGSO-1	BDS-2	01.08.10	3864	Используется по ЦН
C07	37256	IGSO-2	BDS-2	18.12.10	3725	Используется по ЦН
C08	37384	IGSO-3	BDS-2	10.04.11	3612	Используется по ЦН
C09	37763	IGSO-4	BDS-2	27.07.11	3504	Используется по ЦН
C10	37948	IGSO-5	BDS-2	02.12.11	3376	Используется по ЦН
C11	38250	MEO-3	BDS-2	30.04.12	3226	Используется по ЦН
C12	38251	MEO-4	BDS-2	30.04.12	3226	Используется по ЦН
C13	41434	IGSO-6	BDS-2	30.03.16	1796	Используется по ЦН
C14	38775	MEO-6	BDS-2	19.09.12	3084	Используется по ЦН
C16	43539	IGSO-7	BDS-2	10.07.18	964	Используется по ЦН
C19	43001	MEO-1	BDS-3	05.11.17	1211	Используется по ЦН
C20	43002	MEO-2	BDS-3	05.11.17	1211	Используется по ЦН
C21	43208	MEO-3	BDS-3	12.02.18	1112	Используется по ЦН
C22	43207	MEO-4	BDS-3	12.02.18	1112	Используется по ЦН
C23	43581	MEO-5	BDS-3	29.07.18	945	Используется по ЦН
C24	43582	MEO-6	BDS-3	29.07.18	945	Используется по ЦН

Рисунок 1 – Состав и состояние системы BEIDOU с «Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения»

№	Спутник	PRN	Дата (UTC)	Ракета	NSSDC ID	SCN	Орбита	Статус	Система
33	Бэйдоу-3 M9	C23	29.07.2018 01:48	CZ-3B/YZ-1	2018-062A	43581	COO, ~21 500 км	действующий	Бэйдоу-3
34	Бэйдоу-3 M10	C24			2018-062B	43582	COO, ~21 500 км	действующий	
35	Бэйдоу-3 M11	C26	24.08.2018, 23:37	CZ-3B/YZ-1	2018-067A	43602	COO, ~21 500 км	действующий	
36	Бэйдоу-3 M12	C25			2018-067B	43603	COO, ~21 500 км	действующий	
37	Бэйдоу-3 M13	C32	19.09.2018, 14:07	CZ-3B/YZ-1	2018-072A	43622	COO, ~21 500 км	действующий	
38	Бэйдоу-3 M14	C33			2018-072B	43623	COO, ~21 500 км	действующий	
39	Бэйдоу-3 M15	C35	15.10.2018, 04:23	CZ-3B/YZ-1	2018-078A	43647	COO, ~21 500 км	действующий	
40	Бэйдоу-3 M16	C34			2018-078B	43648	COO, ~21 500 км	действующий	
41	Бэйдоу-3 G1Q	C59	01.11.2018, 15:57	CZ-3B/E	2018-085A	43683	ГСО, 144.5° в. д.	действующий	
42	Бэйдоу-3 M17	C36	18.11.2018, 17:49	CZ-3B/YZ-1	2018-093A	43706	COO, ~21 500 км	действующий	
43	Бэйдоу-3 M18	C37			2018-093B	43707	COO, ~21 500 км	действующий	
44	Бэйдоу-3 IGSO-1	C38	20.04.2019, 14:41	CZ-3B/G2	2019-023A	44204	Геосинхронная, накл. 55°;	действующий	

Рисунок 2 – Состав и состояние системы BEIDOU с сайта Википедия

Из рисунков 1-2 видно, что номер спутника совпадает и равен 43582, название спутника - «BEIDOU-3 M1»

1.2. Определение формы орбиты и положения спутника на ней с помощью сервиса CelesTrak

Введем наше название спутника и сверим его по номеру NSSDC ID² и НОРАД (SCN).

Значения совпадают, значит это действительно нужный нам спутник, проведем моделирование на момент времени 15:00, 16 февраля 2021, так как на данном сервисе отсчет времени происходит по UTC(0):

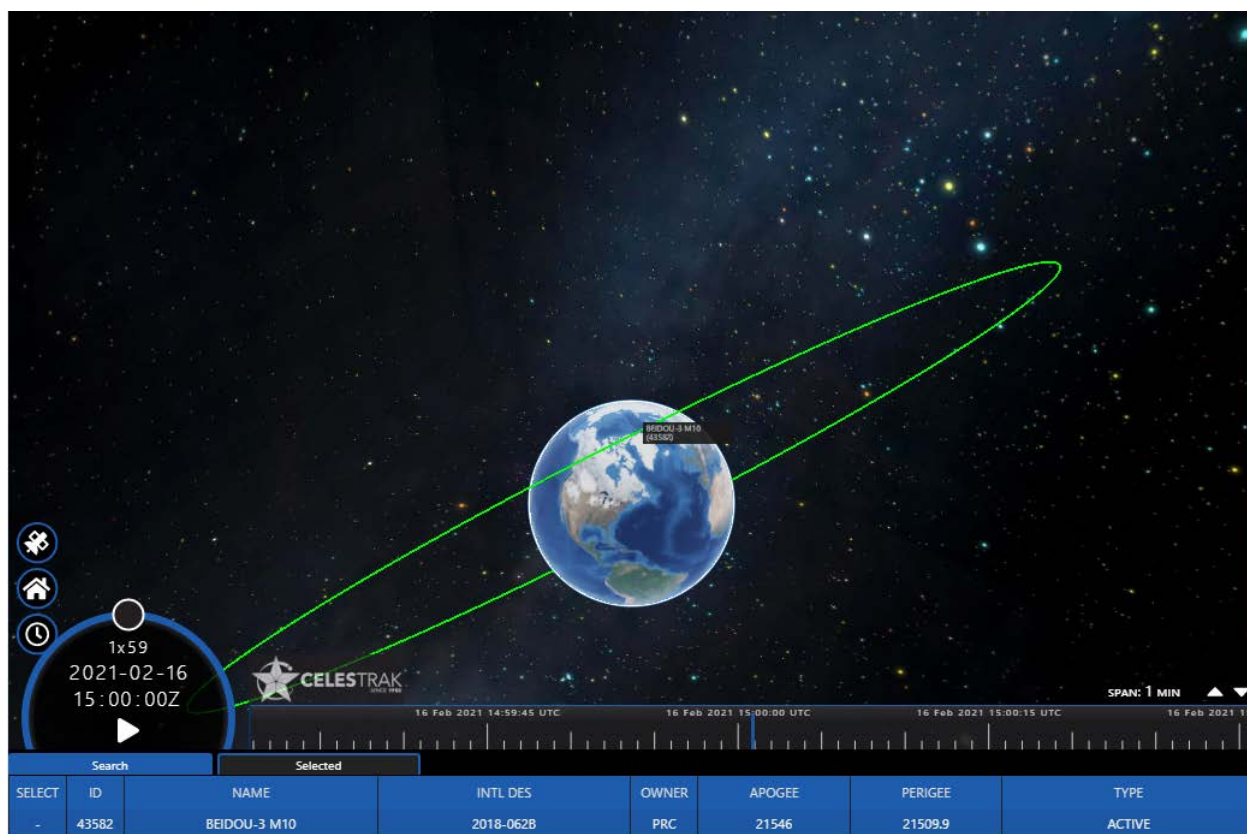


Рисунок 3 – Моделирование с помощью сервиса CelesTrak

² NSSDC ID - номер полёта представляет собой каталожный номер каждого летающего космического объекта, находящегося на орбите и зарегистрированного в COSPAR (Комитет по космическим исследованиям)

1.3. Расчет графика угла места собственного спутника от времени по данным Trimble GNSS Planning Online

Настроим для моделирования GNSS Planning Online, координаты установим в соответствии с расположением антенны – и они будут соответствовать значению корпуса Е МЭИ, также начальное время будет соответствовать 18:00, временной пояс будет равен +3 (UTC +3) на всем этапе моделирования в сервисе GNSS Planning Online, высота выбирается из суммы высоты над уровнем моря (146 м) и примерной высотой здания (25 м) и округляется до сотен:

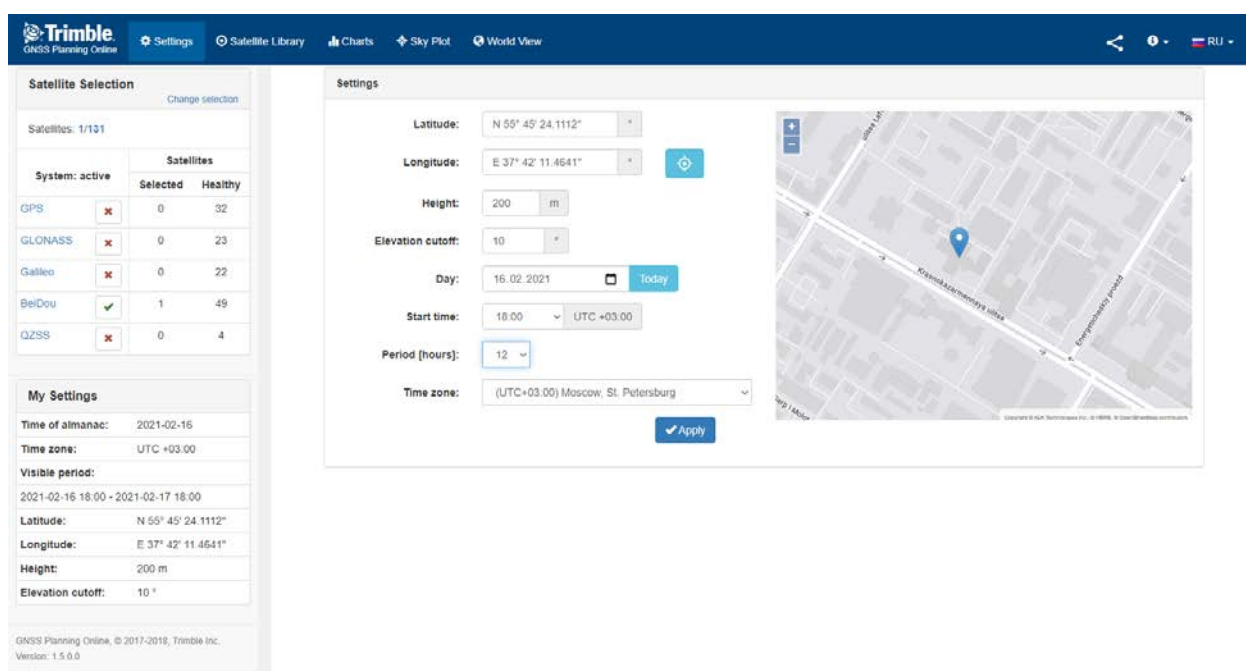


Рисунок 4 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

Далее ограничим количество отображаемых спутников и оставим в моделирование только нужны нам спутник – C24:

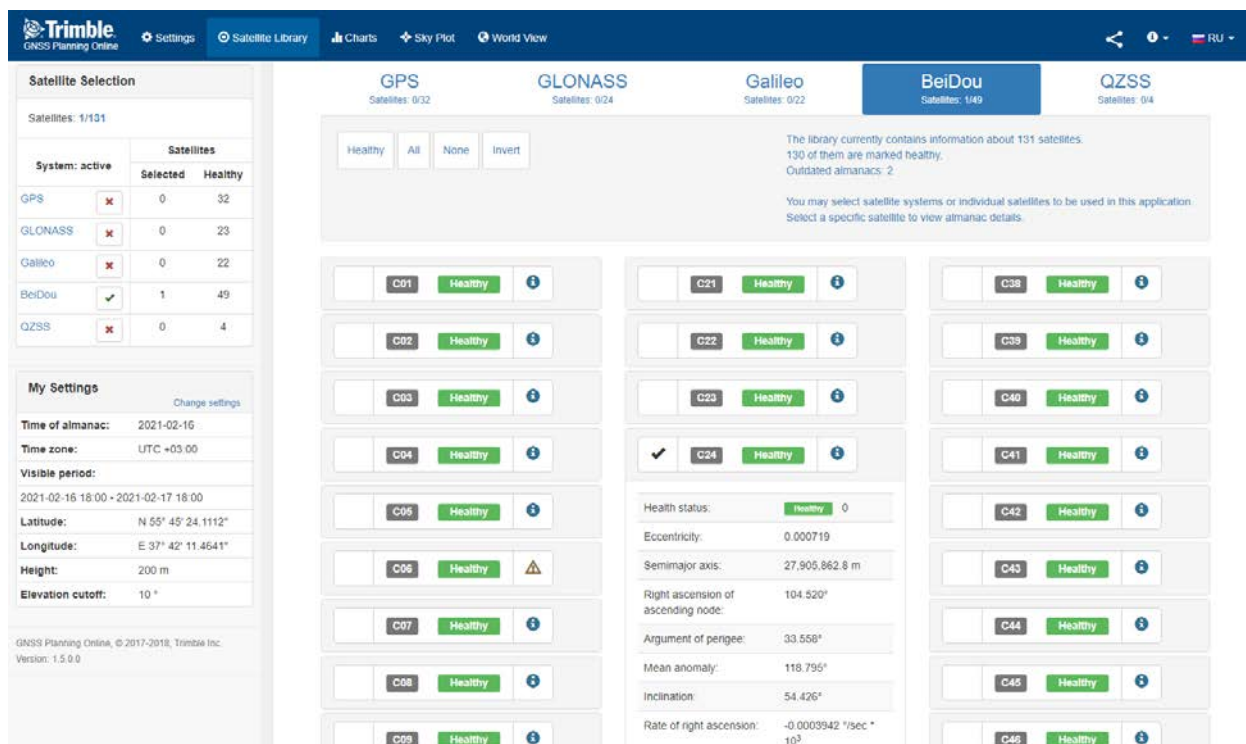


Рисунок 5 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning
Получим график расчета угла места собственного спутника от времени:

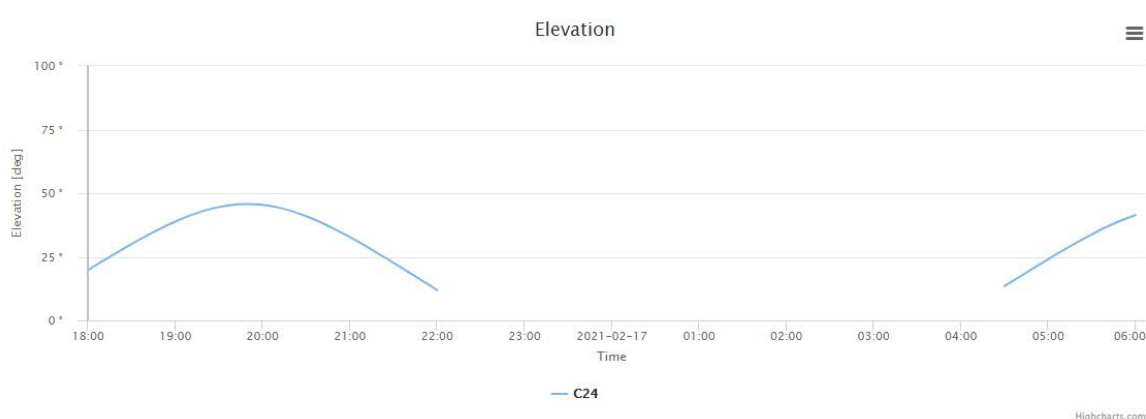


Рисунок 6 – График угла места собственного спутника от времени
По графику видно, что на указанном в задании интервале с 18:00 – 06:00, спутник был в области видимости 2 раза - с 18:00 до 22:00 и с 4:30 до 6:00.

1.4. Расчет диаграммы угла места и азимута спутника (SkyView, он же SkyPlot) по данным Trimble GNSS Planning Online

Так как сервис для определения Sky Plot используется тот же - Trimble GNSS Planning Online, то настройки оставим прежние, и проведем моделирование Sky Plot во временном интервале 18:00-06:00 и зафиксируем положение спутника на небосводе в критических точках, то есть когда он находился в области видимости - в 18:00, 22:00, 4:30 и 6:00.

Тогда получим 4-е графика моделирования:

- 16 февраля 2021 в 18:00:

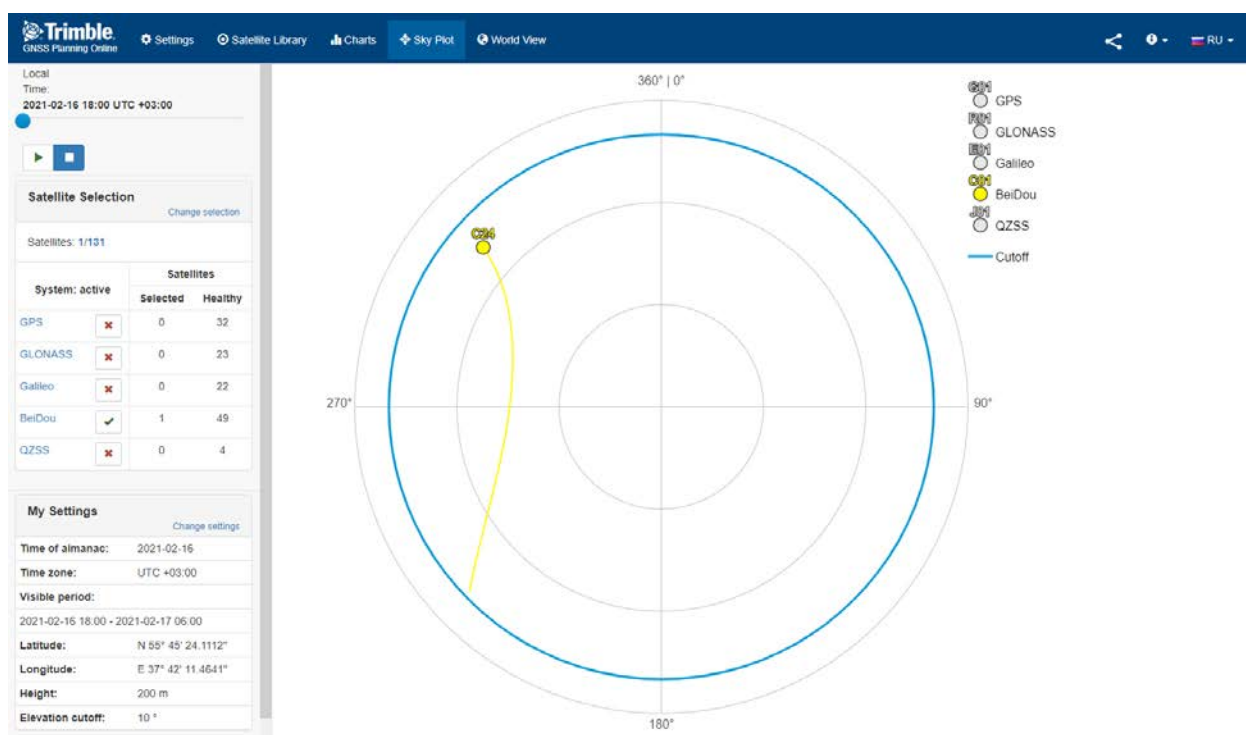


Рисунок 7 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

- 16 февраля 2021 в 22:00:

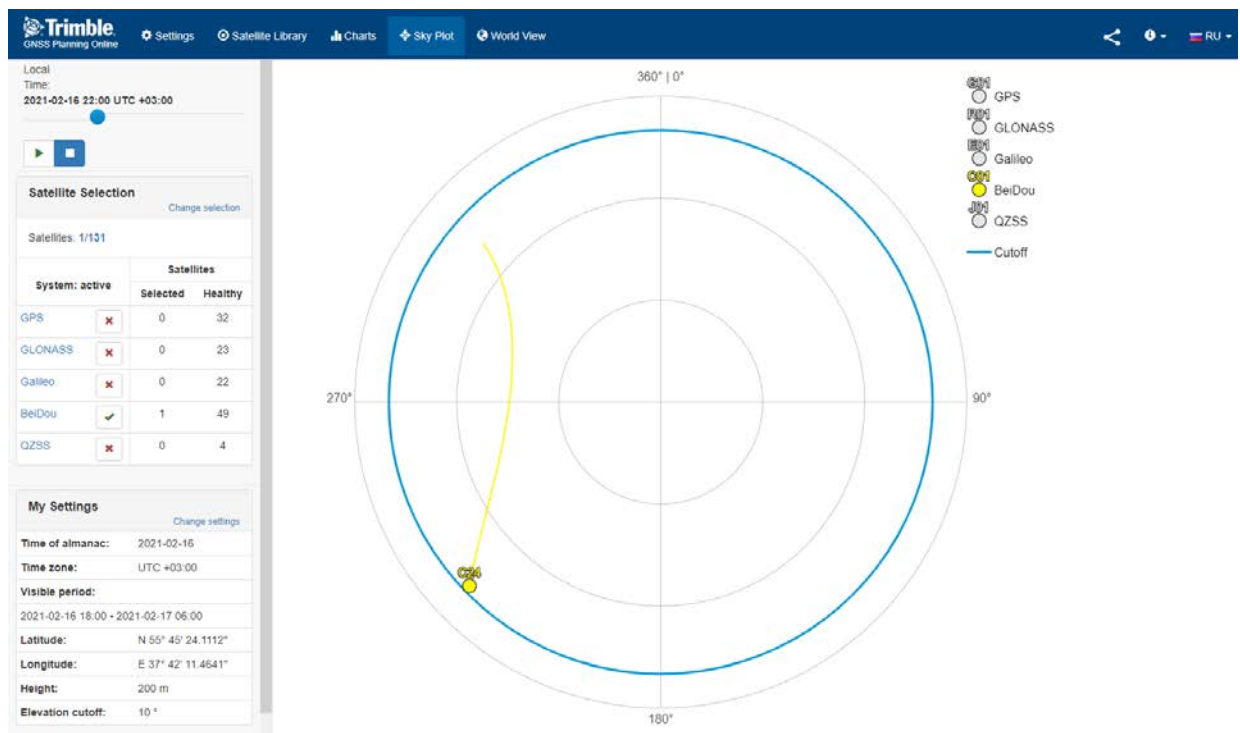


Рисунок 8 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

- 17 февраля 2021 в 4:30:

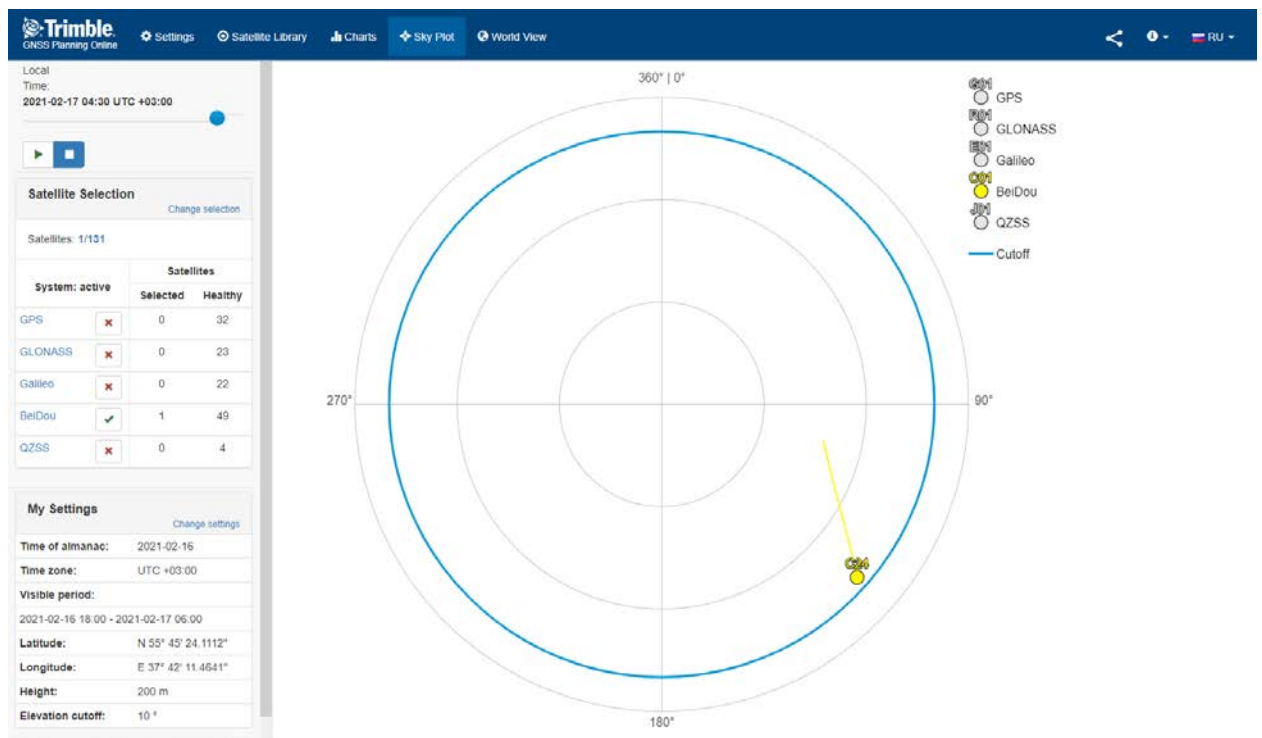


Рисунок 9 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

- 17 февраля 2021 в 6:00:

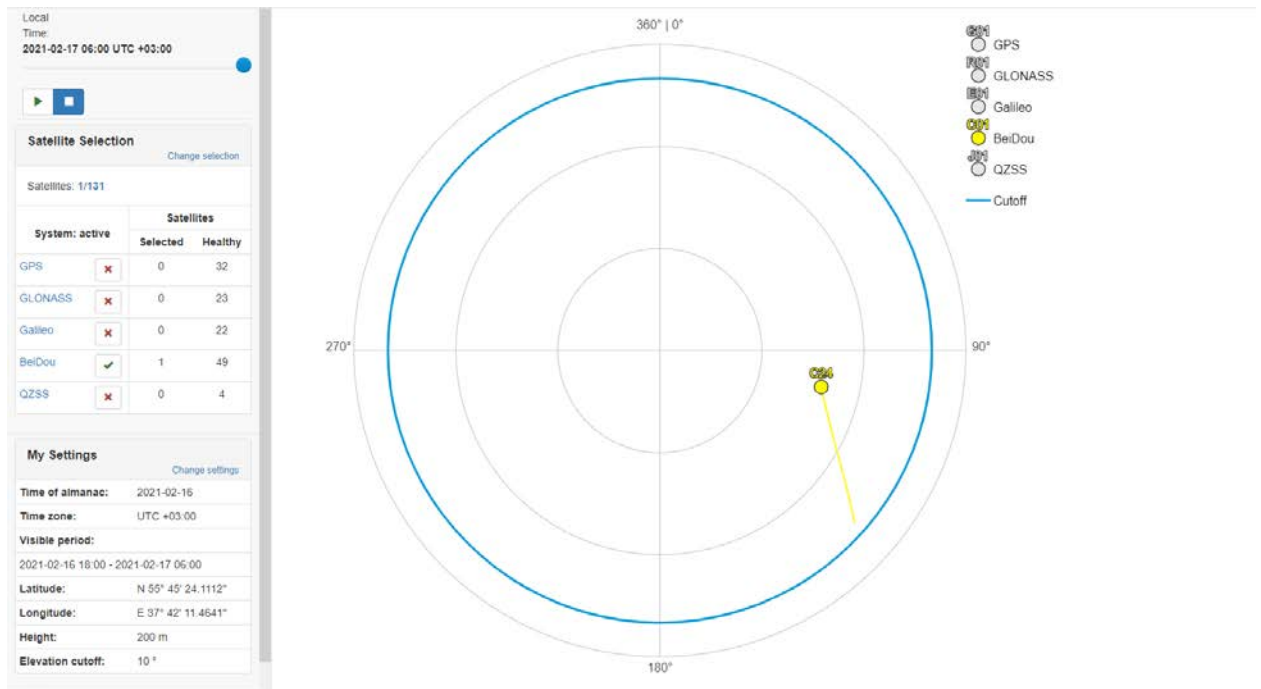


Рисунок 10 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

Для удобства наложим друг на друга полученные 4 графика - рисунок 7-10 и получим карту небосвода:

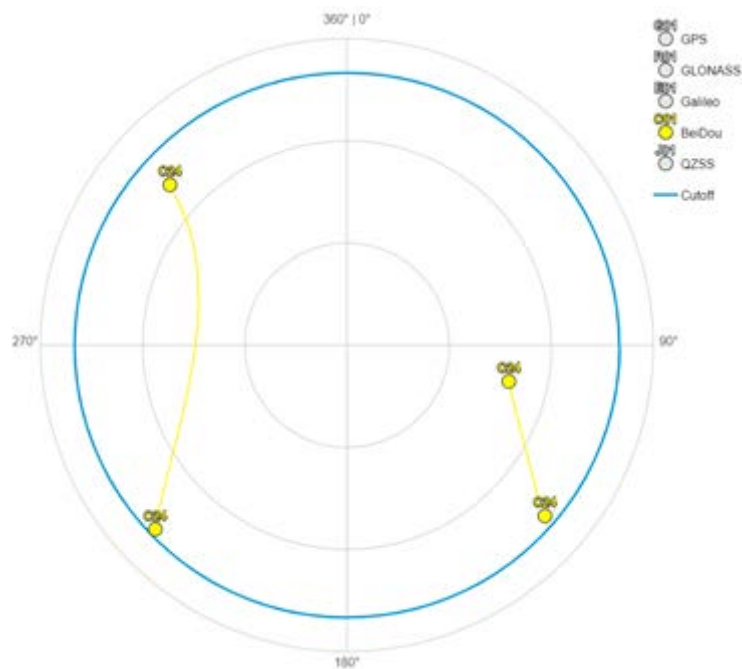


Рисунок 11 – Карта небосвода

1.5. Формирование списка и описание параметров, входящих в состав эфемерид

Таблица 1 – Описание параметров, входящих в состав эфемерид

Параметры	Определение
t_{oe}	Отсчет времени эфемерид
\sqrt{A}	Квадратный корень из большой полуоси орбиты
e	Эксцентриситет
ω	Аргумент перигея
Δn	Среднее отклонение движения от расчетного значения
M_0	Средняя аномалия в исходное время
Ω_0	Долгота восходящего узла орбитальной плоскости, вычисленная по опорному времени
$\dot{\Omega}$	Скорость прямого восхождения
i_0	Угол наклона в исходное время
$IDOT$	Скорость угла наклона
C_{uc}	Амплитуда косинусной поправки к аргументу широты
C_{us}	Амплитуда синусной поправки к аргументу широты
C_{rc}	Амплитуда косинусной поправки к радиусу орбиты
C_{rs}	Амплитуда синусной поправки к радиусу орбиты
C_{ic}	Амплитуда косинусной поправки к углу наклона
C_{is}	Амплитуда синусной поправки к углу наклона

1.6. Формирование таблицы эфемерид собственного спутника

Данные спутника берутся из текстового файла, полученного из дампа бинарного потока данных от приемника в формате NVS BINR.

Таблица 2 – Значения эфемерид спутника C24

Параметры	Значение	Размерность
SatNum	24	-
toe	273600000.000	сек
Crs	7.776562500000000000e+01	м
Dn	4.03945410107353631e-12	-
M0	6.81925786249041765e-01	рад
Cuc	3.90363857150077820e-06	рад
e	7.21270451322197914e-04	-
Cus	6.92019239068031311e-06	рад
sqrtA	5.28261914062500000e+03	м ^{1/2}
Cic	-3.16649675369262695e-08	рад
Omega0	1.82397473298889579e+00	рад
Cis	-2.09547579288482666e-08	рад
i0	9.49933076182709835e-01	рад
Crc	2.14812500000000000e+02	м
omega	5.73989896823145385e-01	рад
OmegaDot	-7.02029242335824152e-12	рад/с
iDot	2.81797452280710840e-13	рад/с
Tgd	7.00000000000000000e+04	сек
toc	2.73600000000000000e+08	сек
af2	0.00000000000000000e+00	сек/сек ²
af1	-7.99094124204202672e-12	сек/сек
af0	-7.62200236320495605e-01	сек
URA	0	-

IODE	514	-
IODC	2	-
codeL2	0	-
L2P	0	-
WN	789	нед.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1]. «Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения «www.glonass-iac.ru»»
- [2]. «Википедия. Свободная энциклопедия «<https://ru.wikipedia.org/wiki/Бэйдоу>»»
- [3]. «Определение формы орбиты и положения спутника на ней «<https://www.celestrak.com>»»
- [4]. « «<https://www.gnssplanningonline.com/>»»