

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»**

ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ

КАФЕДРА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине

**«АППАРАТУРА ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ
СИСТЕМ»**

Разработка модуля расчёта координат спутника Beidou

ФИО студента: Хоанг Д.Д.

Группа: ЭР-15-16

ВАРИАНТ №: 15

ДАТА: _____

Подпись: _____

ФИО преподавателя: КОРОГОДИН И.В.

ОЦЕНКА: _____

МОСКВА, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТОРОННИХ СРЕДСТВ	4
1. Описание задания.....	4
2. Определение формы орбиты и положения спутника.....	4
3. Определение формы орбиты и положения спутника на ней с помощью сервиса CelesTrak.....	6
4. Расчет графика угла места собственного спутника от времени по данным Trimble GNSS Planning Online	7
5. Расчет диаграммы угла места и азимута спутника (SkyView, он же SkyPlot) по данным Trimble GNSS Planning Online	9
6. Формирование таблицы эфемерид собственного спутника	12
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	13

ВВЕДЕНИЕ

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. Описание задания

На первом этапе подготовим вспомогательные данные для разработки: эфемериды и оценки положения спутника от сторонних сервисов (чтобы было с чем сравниваться на след. этапах).

На крыше корпуса Е МЭИ установлена трехдиапазонная антенна Narxон НХ-CSX601А. 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.

2. Определение формы орбиты и положения спутника.

Используя сервис «Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения» определим номер НОРАД [1] и сравним его с номером из «Википедии» [2]:

C16	43539	IGSO-7	BDS-2	10.07.18	967	Используется по ЦН
C19	43001	MEO-1	BDS-3	05.11.17	1214	Используется по ЦН
C20	43002	MEO-2	BDS-3	05.11.17	1214	Используется по ЦН
C21	43208	MEO-3	BDS-3	12.02.18	1115	Используется по ЦН
C22	43207	MEO-4	BDS-3	12.02.18	1115	Используется по ЦН
C23	43581	MEO-5	BDS-3	29.07.18	948	Используется по ЦН
C24	43582	MEO-6	BDS-3	29.07.18	948	Используется по ЦН
C25	43603	MEO-11	BDS-3	25.08.18	921	Используется по ЦН
C26	43602	MEO-12	BDS-3	25.08.18	921	Используется по ЦН
C27	43107	MEO-7	BDS-3	12.01.18	1146	Используется по ЦН
C28	43108	MEO-8	BDS-3	12.01.18	1146	Используется по ЦН
C29	43245	MEO-9	BDS-3	30.03.18	1069	Используется по ЦН
C30	43246	MEO-10	BDS-3	30.03.18	1069	Используется по ЦН
C32	43622	MEO-13	BDS-3	19.09.18	896	Используется по ЦН
C33	43623	MEO-14	BDS-3	19.09.18	896	Используется по ЦН
C34	43648	MEO-15	BDS-3	15.10.18	870	Используется по ЦН
C35	43647	MEO-16	BDS-3	15.10.18	870	Используется по ЦН
C36	43706	MEO-17	BDS-3	19.11.18	835	Используется по ЦН
C37	43707	MEO-18	BDS-3	19.11.18	835	Используется по ЦН
C38	44204	IGSO-1	BDS-3	20.04.19	683	Используется по ЦН
C39	44337	IGSO-2	BDS-3	25.06.19	617	Используется по ЦН

Рисунок 1 – Состояние космических аппаратов BeiDou на 03.03.21

16	Компас G6	C02	25.10.2012 15:33	CZ-3C	2012-059A	38953	ГСО, 80° в. д.	действующий	
17	Бэйдоу-3S IGSO-1	C31	30.03.2015 13:52	CZ-3C/YZ-1	2015-019A	40549	Геосинхронная, наклонение 55°	на испытании	
18	Бэйдоу-3S M1	C58	25.07.2015 12:29	CZ-3B/YZ-1	2015-037A	40748	ССО, ~21 500 км	на испытании	Бэйдоу-3S
19	Бэйдоу-3S M2	C57			2015-037B	40749	ССО, ~21 500 км	на испытании	
20	Бэйдоу-3S IGSO-2	C56	29.09.2015 23:13	CZ-3B/E	2015-053A	40938	Геосинхронная, наклонение 55°	на испытании	
21	Бэйдоу-3S M3	N/A	01.02.2016 07:29	CZ-3C/YZ-1	2016-006A	41315	ССО, ~21 500 км	на испытании	
22	Бэйдоу-2 IGSO-6	C13	29.03.2016 20:11	CZ-3A	2016-021A	41434	Геосинхронная, накл. 55°;	действующий	Бэйдоу-2
23	Бэйдоу-2 G7	C03	12.06.2016 15:30	CZ-3C	2016-037A	41586	ГСО, 144° в. д.	действующий	
24	Бэйдоу-3 M1	C19	05.11.2017 11:44	CZ-3B/YZ-1	2017-069A	43001	ССО, ~21 500 км	действующий	Бэйдоу-3
25	Бэйдоу-3 M2	C20			2017-069B	43002	ССО, ~21 500 км	действующий	
26	Бэйдоу-3 M3	C27	11.01.2018 23:18	CZ-3B/YZ-1	2018-003A	43107	ССО, ~21 500 км	действующий	
27	Бэйдоу-3 M4	C28			2018-003B	43108	ССО, ~21 500 км	действующий	
28	Бэйдоу-3 M5	C22	12.02.2018 05:10	CZ-3B/YZ-1	2018-018A	43207	ССО, ~21 500 км	действующий	
29	Бэйдоу-3 M6	C21			2018-018B	43208	ССО, ~21 500 км	действующий	
30	Бэйдоу-3 M7	C29	29.03.2018 17:50	CZ-3B/YZ-1	2018-029A	43245	ССО, ~21 500 км	действующий	
31	Бэйдоу-3 M8	C30			2018-029B	43246	ССО, ~21 500 км	действующий	
32	Бэйдоу-2 IGSO-7	C16	09.07.2018 20:58	CZ-3A	2018-057A	43539	Геосинхронная, накл. 55°;	действующий	Бэйдоу-2
33	Бэйдоу-3 M9	C23	29.07.2018 01:48	CZ-3B/YZ-1	2018-062A	43581	ССО, ~21 500 км	действующий	Бэйдоу-3
34	Бэйдоу-3 M10	C24			2018-062B	43582	ССО, ~21 500 км	действующий	
35	Бэйдоу-3 M11	C26	24.08.2018, 23:37	CZ-3B/YZ-1	2018-067A	43602	ССО, ~21 500 км	действующий	
36	Бэйдоу-3 M12	C25			2018-067B	43603	ССО, ~21 500 км	действующий	
37	Бэйдоу-3 M13	C32	19.09.2018, 14:07	CZ-3B/YZ-1	2018-072A	43622	ССО, ~21 500 км	действующий	
38	Бэйдоу-3 M14	C33			2018-072B	43623	ССО, ~21 500 км	действующий	
39	Бэйдоу-3 M15	C35			2018-078A	43647	ССО, ~21 500 км	действующий	

Рисунок 2 – Состояние системы BeiDou с сайта Википедия

Интересующий нас спутник "BEIDOU-3 M7":

Таблица 1 – Сведения о спутнике

Спутник	PRN	ID	SCN
BEIDOU-3 M7	C29	2018-029A	43245

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

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

Значения совпадают, данный спутник существует проведем моделирование на момент времени 15:00, 16 февраля 2021, так как на данном сервисе отсчет времени происходит по UTC(0):

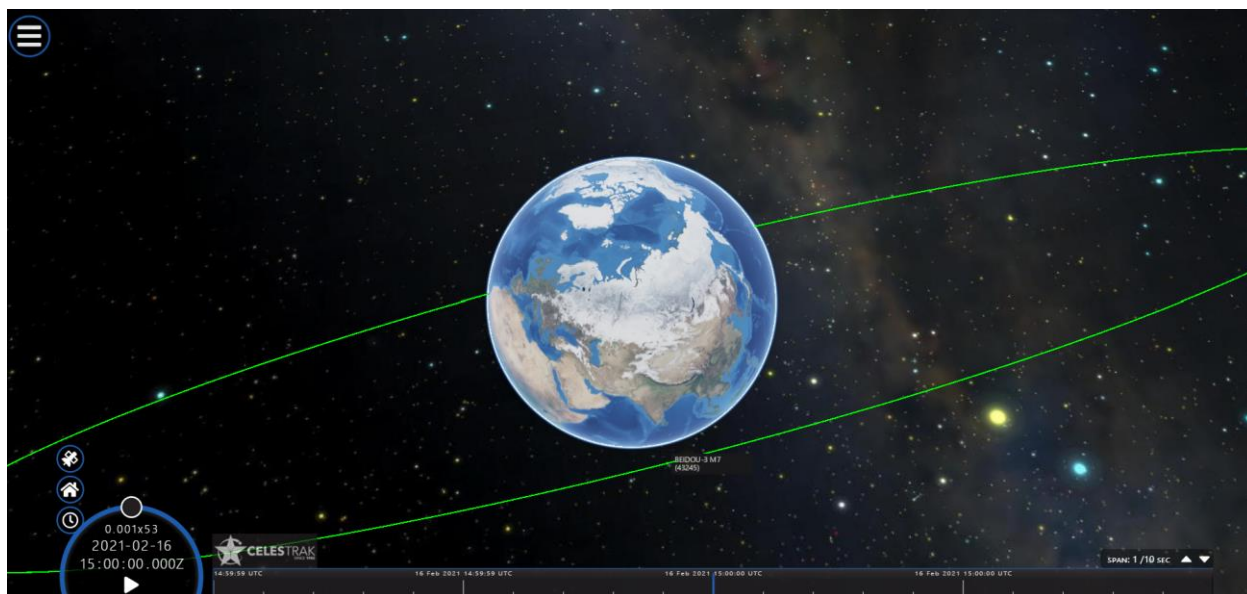


Рисунок 3 – Моделирование с помощью сервиса CelesTrak

4. 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.

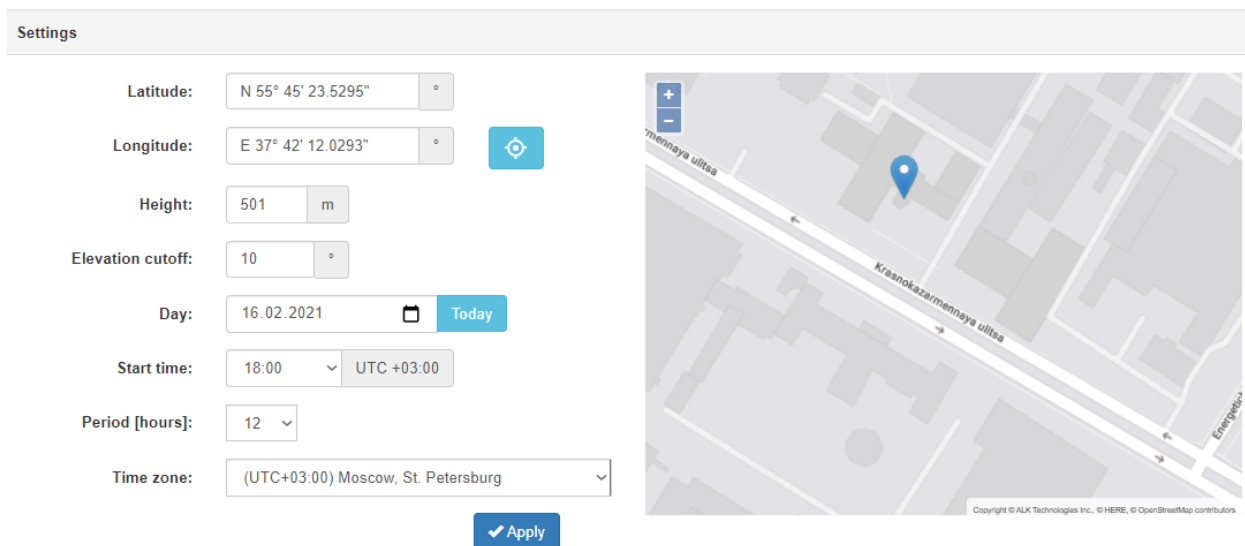


Рисунок 4 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

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

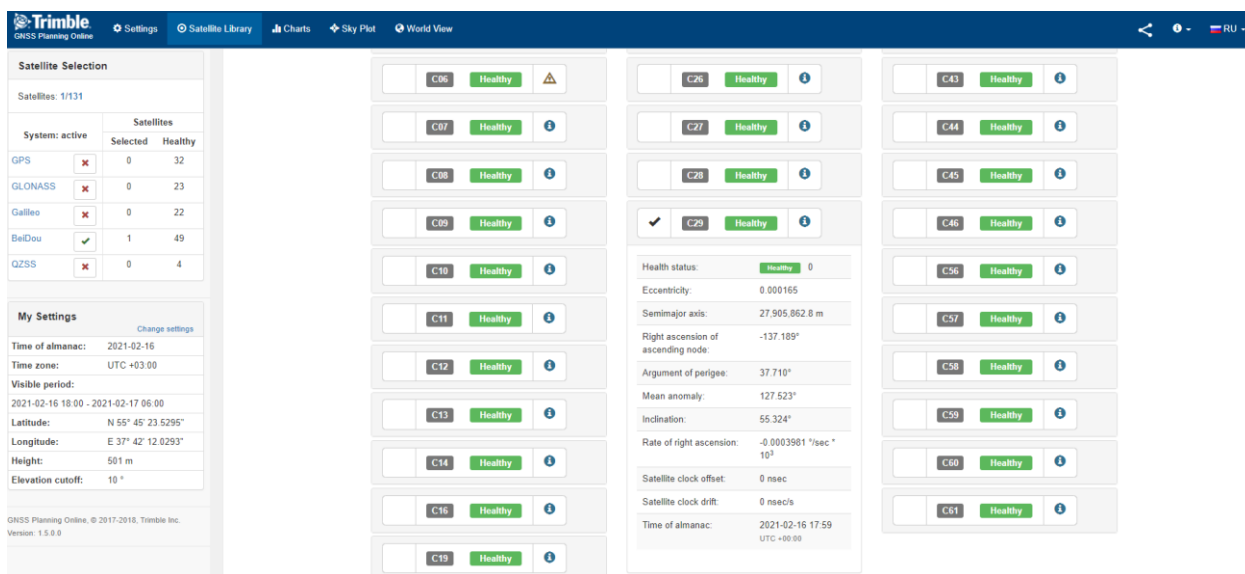


Рисунок 5 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

Получим график расчета угла места собственного спутника от времени:

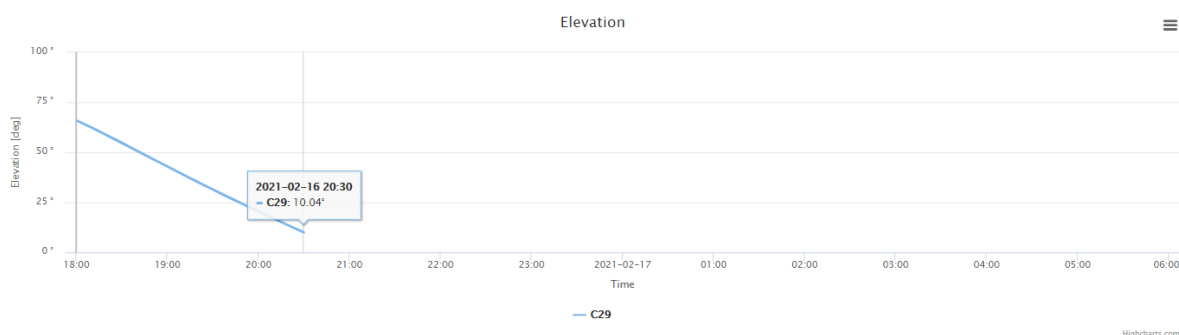


Рисунок 6 – График угла места собственного спутника от времени

По графику видно, что на указанном в задании интервале с 18:00 – 06:00, спутник был в области видимости один раз с 18:00 до 20:30.

5. 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 и 20:30.

Тогда получим 2 графика моделирования:

- 16 февраля 2021 в 18:00:

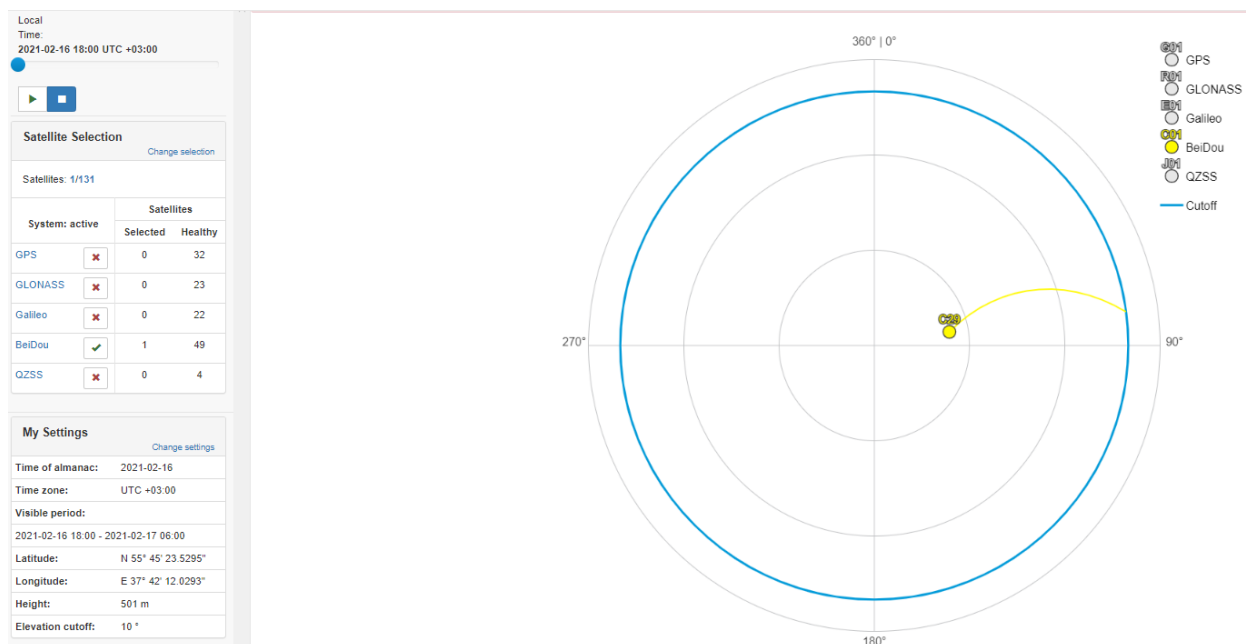


Рисунок 7 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

- 16 февраля 2021 в 20:30:

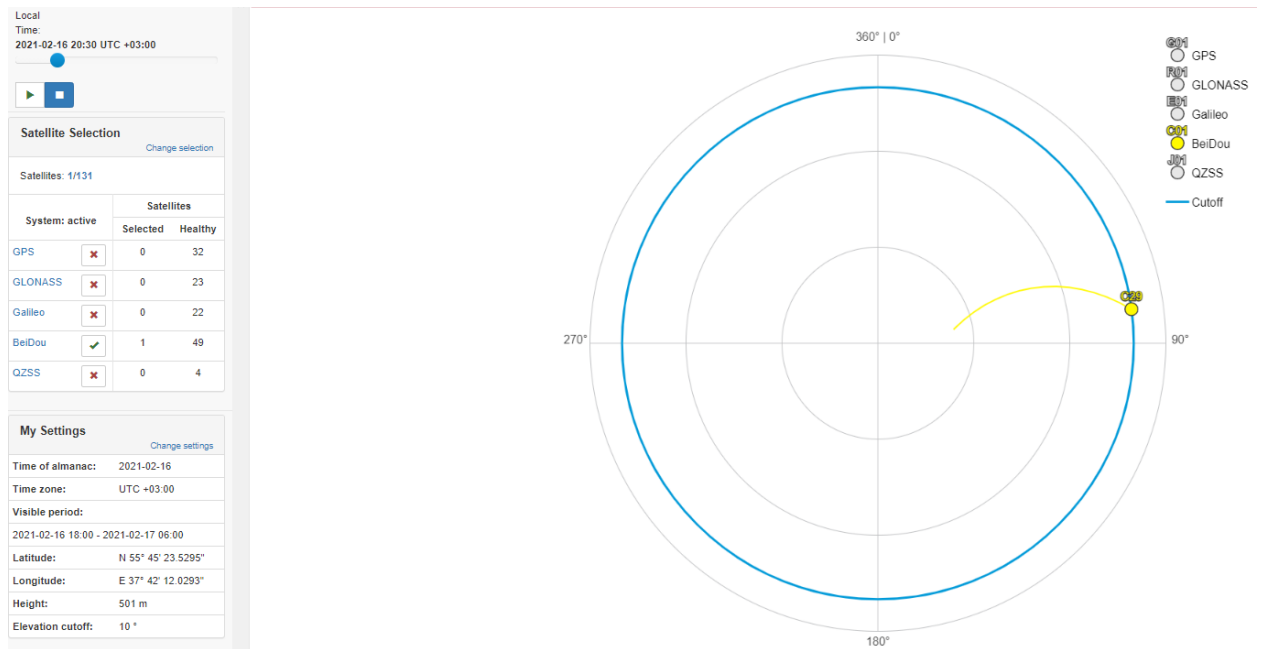


Рисунок 8 – Моделирование с помощью сервиса Trimble GNSS Planning

6. Формирование таблицы эфемерид собственного спутника

Таблица 2 – Значения эфемерид спутника

Параметр	Значение	Размерность
SatNum	29	-
toe	219600000.000	мс
Crs	4.8437500000000000e-01	м
Dn	3.38049792152073092e-12	рад/с
M0	-2.04583603053961255e-01	рад
Cuc	7.40401446819305420e-08	рад
e	1.57959060743451118e-04	-
Cus	1.13863497972488403e-05	рад
sqrtA	5.28262396240234375e+03	м ^{1/2}
Cic	3.86498868465423584e-08	рад
Omega0	-2.39429712929735228e+00	рад
Cis	3.07336449623107910e-08	рад
i0	9.65601789007491829e-01	рад
Crc	1.32890625000000000e+02	м
omega	6.54981262210034165e-01	рад
OmegaDot	-6.63384775495807734e-12	рад/мс
iDot	5.14307137242361949e-14	рад/мс
Tgd	1.0220000000000000e+06	мс
toc	2.1960000000000000e+08	мс
af2	0.0000000000000000e+00	мс/мс ²
af1	5.06794606280891458e-12	мс/мс
af0	3.53220045566558838e-01	мс
URA	0	-
IODE	257	-
IODC	1	-
codeL2	0	-
L2P	0	-
WN	789	-

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/>»