Министерство науки и высшего образования РФ

Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Инженерной Физики и Радиоэлектроники

Кафедра Радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Подпись инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_ 20 \_\_\_ г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

11.03.01 - Радиотехника

Исследование алгоритма вычисления ионосферной поправки для системы Galileo.

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М. М. Валиханов

подпись, дата должность, ученая степень

Выпускник \_\_\_\_\_\_\_\_\_ Н. Г. Сюлин

подпись, дата

Красноярск 2022

**СОДЕРЖАНИЕ**

## ВВЕДЕНИЕ

На пути к приемникам, расположенным на поверхности Земли или вблизи нее, сигналы спутников ГНСС проходят через ионосферу. Свободные электроны, находящиеся в этой оболочке атмосферы, влияют на распространение сигналов, изменяя их скорость и направление движения. Это приводит к задержке в прибытии модулированных составляющих сигналов (из которых впоследствии получают измерения псевдодальности) и в несущих фазах волн сигналов (влияющих на измерения несущей фазы). Ионосфера - диспергирующая среда для радиосигналов, поэтому при одновременном проведении измерений на двух частотах, передаваемых спутником, большая часть влияния ионосферы может быть исключена. Однако одночастотные устройства, такие как большинство навигационных транспортных средств и портативных приемников, не могут позволить себе роскошь. Эти устройства должны полагаться на модели коррекции в одночастотном режиме. Коэффициенты для такой модели включены в навигационные сообщения, передаваемые со всех спутников GPS. Известный как алгоритм коррекции ионосферы или алгоритм Клобухар, он удаляет по меньшей мере 50 % влияния ионосферы в сигналах.

Распространение радиоволн сигналов ГНСС зависит от атмосферы Земли и характеристик среды, окружающей приемник. Системы ГНСС основаны на трансляции радиоволн в микроволновой области (в основном все работают в так называемом L-диапазоне, хотя некоторые новые системы, такие как Индийская региональная навигационная спутниковая система, как ожидается, будет вести вещание в S-диапазоне). Эти электромагнитные сигналы могут страдать от ряда помех. При рассмотрении этих эффектов, мы можем разделить атмосферу Земли на две части: электрически нейтральную атмосферу (в первую очередь самую низкую часть - тропосферу), где основной эффект групповой задержки навигационных сигналов происходит из-за частиц водяного пара и газовых компонентов сухого воздуха, который для микроволнового излучения является недисперсным (зависит от частоты); и ионосферу, ионизированную часть атмосферы. Локальное окружение может повлиять на навигационный сигнал различным образом, приводя к созданию препятствий для свободного прохождения сигнала или полной его блокировке (например, растительностью или такими препятствиями, как здания). Сигнал также может рассеяться и стать многолучевым из-за отражения и дифракции на окружающие предметы. В этой дипломной работе будет рассмотрено влияние ионосферы на сигналы ГНСС и решение данной проблемы, предложенное командой Galileo.[1]

## 1 Проблема ионосферной задержки

Ионосфера, простирающаяся от высоты около 50 км до примерно 1000 км над Землей, является областью ионизованных газов (свободных электронов и ионов). Ионизация вызывается солнечной радиацией, и состояние ионосферы определяется преимущественно интенсивностью солнечной активности. Ионосфера состоит из слоев (называемых слоями D, E, F1 и F2) на различных высотах, каждый со своими скоростями образования и потери свободных электронов. Пик электронной плотности (количество электронов в кубическом метре) приходится на диапазон высот в 250-400 км (слой F2).

Физические характеристики ионосферы изменяются ото дня к ночи в широких пределах. Когда Солнце восходит, его ультрафиолетовое излучение начинает разлагать молекулы газа (в основном H2 и He на больших высотах, а на меньших высотах – O2 и N2) на ионы и свободные электроны. Пик электронной плотности наступает около 2 часов после местного полдня, а затем плотность начинает уменьшаться. Ночью ионизация не происходит, и ионы и электроны находят друг друга и рекомбинируют, уменьшая количество свободных электронов. Наблюдаются значительные изменения в зависимости от времени года и фазы 11-летнего цикла солнечной активности. (Текущий солнечный цикл начался в 1995 г. и имел пик в 2000 г.) Может также проявляться значительная изменяемость ото дня ко дню, в зависимости от солнечной активности и геомагнитных нарушений. Есть также непредсказуемые краткосрочные влияния и локальные аномалии (подвижные ионосферные нарушения).

Скорость распространения радиосигналов в ионосфере зависит от числа свободных электронов на их пути, определяемых величиной полной электронной концентрации TEC (Total Electron Content). Это число электронов, содержащихся в столбе сечением в 1 м2, простирающемся от приемника до спутника:



где ne(s) - переменная электронная плотность вдоль пути сигнала, а интегрирование производится вдоль пути сигнала от спутника S к приемнику R. Длина пути через ионосферу самая короткая в направлении зенита, и поэтому TEC имеет наименьшее значение в вертикальном направлении (TECV). Величина TEC измеряется в единицах TECU (TEC Units), определяемых как 1016 электронов/м2. Обычно TECV изменяется между 1 и 150 TECU. В данном месте и в данное время TECV может изменяться на 20-25% от его среднемесячного значения. Современные модели ионосферы не обеспечивают адекватное представление изменений в TEC между сутками.

Ионосфера обычно имеет спокойное поведение в умеренных широтах, но может флуктуировать вблизи экватора и магнитных полюсов. Район с наивысшей ионосферной задержкой лежит в пределах ±20° от магнитного экватора. Солнечные вспышки и последующие магнитные бури могут создавать обширные и быстрые флуктуации в фазе несущей (называемые сцинтилляциями) и в амплитуде (называемые затуханиями) сигналов СРНС. Это явление, хотя и кратковременное, и нечастое в средних широтах, может создавать трудности в непрерывном отслеживании сигналов в полярных и экваториальных районах. [2]

## 2 Что такое NeQuick, область применения

## 3 Описание алгоритма NeQuick

## 4 Установка и использование NeQuick

NeQuick является ПО с открытым исходным кодом, скачать его можно на сайте Европейского Сервисного Центра ГНСС (<https://www.gsc-europa.eu/support-to-developers/nequick-g-source-code>). Реализация алгоритма на ЯП С стандарта 2011 года разделена на несколько частей:

Библиотека NeQuick G JRC

Тестовая программа

Несколько директорий с говорящими названиями: расширения, связанные с .c и .h файлами, текстовые файлы, файлы MODIP и CCIR соответствующие изначальному распространению NeQuick, make файлы, конфигурационные файлы (.cfg) и perl файлы (.pl).

Сборка осуществляется с помощью cmake и конфигурации в Makefile, можно выбрать один из нескольких вариантов конечной сборки, для работы в Windows лучше всего подойдет версия для Visual Studio 2015, конечный проект будет совместим и с более поздними версиями Visual Studio. После сборки будет создан .exe файл, который можно запустить из командной строки. Это непосредственно запуск NeQuick.

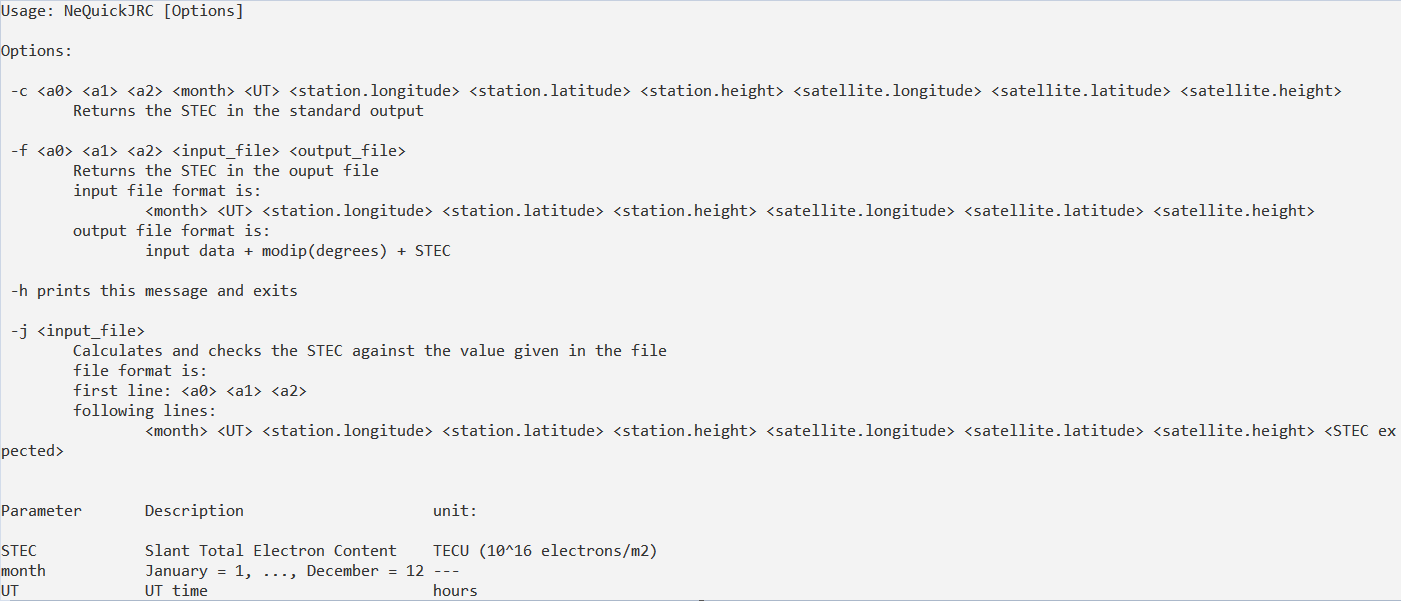


Рисунок N – Инструкции по запуску NeQuick

Как видно из рисунка выше, алгоритм может работать в 2х режимах. Первый вызывается параметром -c и на входе требует следующие данные:

a0, a1, a2 – коэффициенты солнечной активности,

month, UT – время ,

station.longitude, station.latitude, station.height – координаты станции,

satellite.longitude, satellite.latitude, satellite.height – координаты спутника.

Второй режим, вызывающийся параметром -f принимает тот же набор параметров, но разница в количестве – если первый вариант работает по одному набору, то второй читает файл, где каждая строка соответствует 1 набору, поэтому в качестве параметров в консоли необходимо указать коэффициенты солнечной активности, входной файл и название выходного файла, который NeQuick создаст в текущей директории.

Коэффициенты солнечной активности, координаты станции наблюдения (которая и сняла эти коэффициенты) и время находятся в файлах rinex.

RINEX — это формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приёмников. Он позволяет пользователям производить пост-обработку полученных данных для выполнения более точных вычислений — обычно с помощью других данных, неизвестных приемнику, например за счёт применения более точной модели атмосферных параметров в момент измерений. Выглядит такой формат следующим образом:

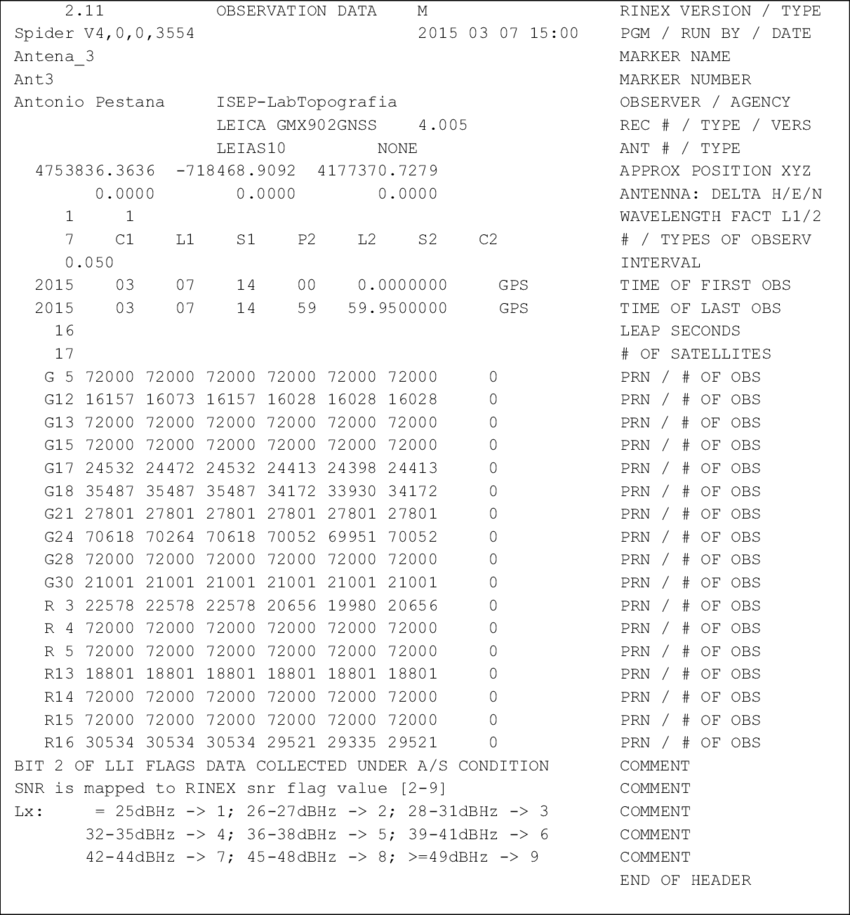


Рисунок N – пример заголовка rinex файла

Координаты спутника же передаются в другом формате – sp3.

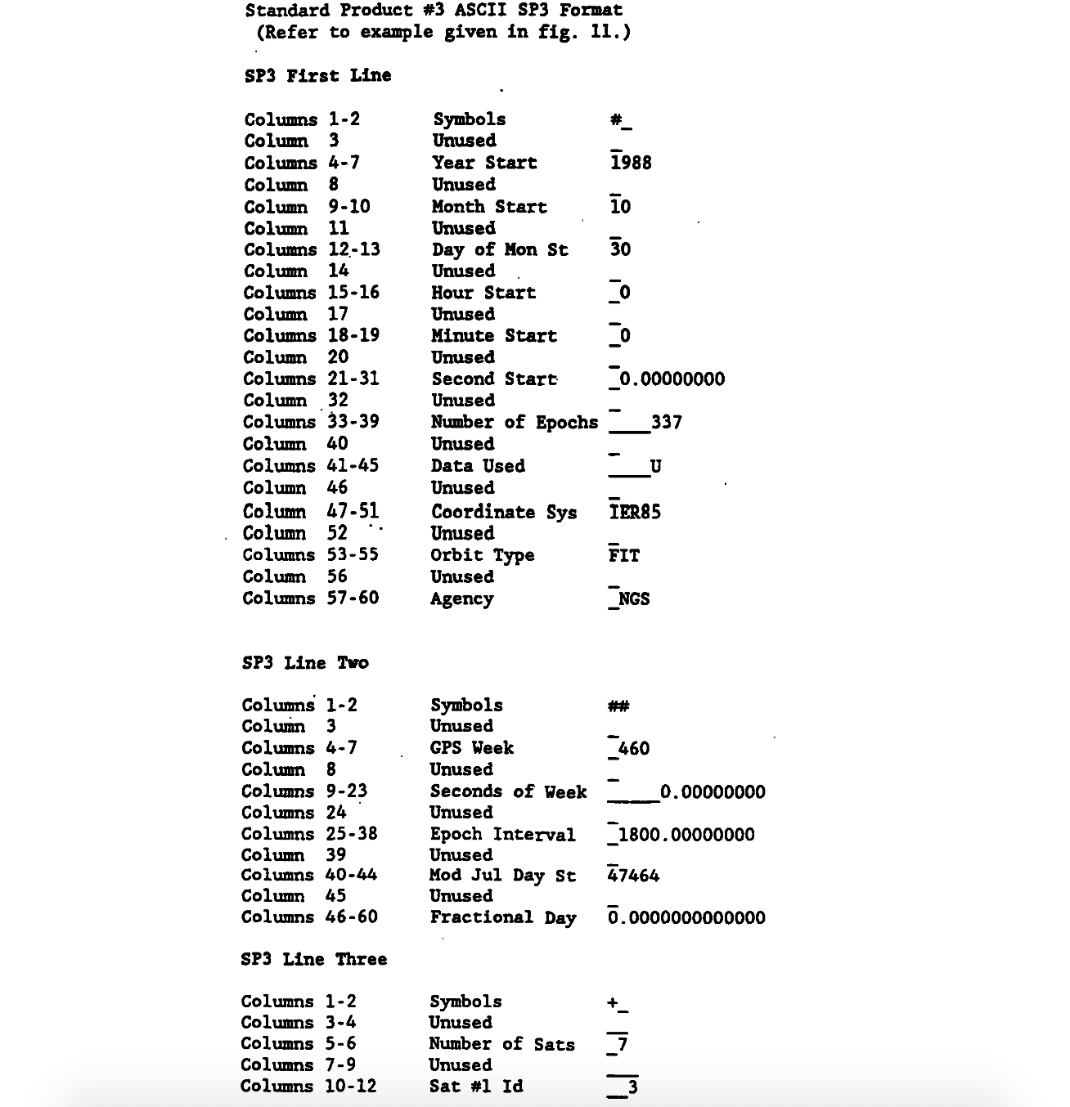


Рисунок N – Пример описания формата sp3

Параметр -h выдает сообщение на рисунке N. Последний параметр -j нужен для проверки получаемых STEC единиц – в нем указывается упомянутый выше набор данных и предполагаемые значения STEC.

Результатом работы алгоритма являются значения STEC (Slant Total Electron Content – полное наклонное содержание электронов).

## 5 Пример работы алгоритма

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 <http://www.gisa.ru/104204.html>

2 К.М. Антонович ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ГЕОДЕЗИИ Том 1 стр 232

## ПРИЛОЖЕНИЕ ?

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ?