

Министерство образования и науки Российской Федерации

Московский государственный университет
геодезии и картографии

А.О. Куприянов, Д.А. Морозов

**Позиционирование по сигналам глобальных
навигационных спутниковых систем
в абсолютном режиме**

Москва
2017

Рецензенты:

кандидат экон. наук **А.Н. Прусаков**
(ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»);
кандидат техн. наук **В.И. Суслин** (МИИГАиК)

Составители: А.О. Куприянов, Д.А. Морозов

Позиционирование по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем в абсолютном режиме: учебно-методическое пособие. –М.: МИИГАиК. 2017. –32 с.

Методические указания написаны в соответствии с утвержденной программой курса «Глобальные навигационные спутниковые системы», рекомендованы кафедрой прикладной геодезии, утверждены к изданию редакционно-издательской комиссией геодезического факультета и РИС МИИГАиК.

Предназначены для оказания помощи студентам, выполняющим практические работы по обработке ГНСС-измерений, и содержат все необходимые исходные данные и нормативные требования для успешного их выполнения. Состоят из трёх разделов. Первый раздел содержит сведения об обработке ГНСС-измерений в программном пакете RTKLIV. Второй раздел — сведения о настройках обработки ГНСС-измерений в программном пакете RTKLIV. В третьем разделе описаны практические работы, алгоритмы их выполнения и исходные данные. Представленная информация и полученные студентами навыки проектирования являются необходимыми для успешного освоения программы курса.

Для студентов очного отделения специальности «Прикладная геодезия», квалификация — специалист.

Электронная версия методических указаний размещена на сайте библиотеки МИИГАиК <http://library.miigaik.ru>

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1. Обработка ГНСС-измерений с помощью программы RTKPOST	5
1.1. Алгоритм обработки ГНСС-измерений в RTKPOST	5
2. Настройка параметров обработки в RTKPOST	8
2.1 Вкладка «Setting1»	8
2.2 Вкладка «Setting2»	11
2.3 Вкладка «Output»	13
2.4 Вкладка «Stats»	14
2.5 Вкладка «Positions»	15
2.6 Вкладка «Files»	16
2.7 Вкладка «Misc»	17
3. Практические работы	18
3.1. Статическое позиционирование	18
Практическая работа №1. Обработка статических ГНСС-измерений в режиме PPP	18
Практическая работа №2. Обработка статических ГНСС-измерений в режиме PPP с разрешением фазовых неоднозначностей	20
3.2. Кинематическое позиционирование	22
Практическая работа №3. Обработка кинематических ГНСС-измерений в режиме PPP	22
Практическая работа №4. Обработка кинематических ГНСС-измерений в режиме PPP с использованием модели геоида	25
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	28

ВВЕДЕНИЕ

Позиционирование по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в абсолютном режиме с помощью метода Precise Point Positioning (PPP) в настоящее время активно развивается и уже сейчас позволяет получать показатели точности достаточные для решения некоторых геодезических задач.

Принцип абсолютного позиционирования с помощью метода Precise Point Positioning (PPP) заключается в независимой обработке ГНСС-измерений с использованием точных эфемерид, коррекций часов спутников и прочей дополнительной информации.

Позиционирование по сигналам ГНСС в относительном абсолютном требует обработки значительного объёма данных измерений, и практически реализуется при помощи специализированного программного обеспечения. Задачи позиционирования с помощью метода Precise Point Positioning (PPP) можно разделить на две основные группы: статическое позиционирование и кинематическое позиционирование. В рамках представленных практических работ решение задачи позиционирования производится в программном пакете RTKPOST.

Следует отметить, что обработка данных с использованием программного обеспечения не может сводиться к механическому выполнению последовательности действий. Для получения качественных результатов оператор должен понимать и использовать весь спектр возможностей программного обеспечения и грамотно оперировать дополнительными данными.

1. ОБРАБОТКА ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ RTKPOST

Программный пакет RTKLIB содержит программу RTKPOST для пост-обработки ГНСС-измерений. RTKPOST позволяет выполнять пост-обработку ГНСС-измерений представленных в формате RINEX (версии: 2.10, 2.11, 2.12, 3.00, 3.01). RTKPOST позволяет обрабатывать измерения выполненные по сигналам навигационных систем GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou и SBAS. Обработка проводится в одном из следующих режимов: Абсолютный режим позиционирования, DGPS/DGNSS, Кинематика, Статика, PPP-Кинематика и PPP-Статика.

1.1. АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ В RTKPOST

Обработка выполняется в соответствии с приведённым далее алгоритмом.

1. Необходимо произвести выполнение файла `<install dir>\rtklib_<ver>\bin\rtkpost.exe`. Далее вы сможете увидеть главное окно RTKPOST.
2. Необходимо выбрать файл содержащий данные измерений выполненных приёмником на определяемом пункте. Для этого адрес нужного файла вводится в текстовое поле "RINEX OBS(: Rover)" либо используется диалоговое окно для выбора нужного файла. Для вызова диалогового окна необходимо нажать клавишу справа от текстового поля.
3. Если обработка выполняется в относительном режиме (DGPS / DGNSS, Kinematic, Static, Moving-Base или Fixed) необходимо выбрать файл содержащий данные измерений выполненных приёмником на исходном пункте. Для этого адрес нужного файла вводится в текстовое поле "RINEX OBS: Base Station" либо используется диалоговое окно для выбора нужного файла. Для вызова диалогового окна необходимо нажать клавишу справа от текстового поля.
4. После того как выбраны файлы измерений необходимо выбрать файлы эфемерид. Существует два основных варианта эфемерид, которые могут

быть использованы для обработки: бортовые и высокоточные. Бортовые эфемериды содержатся в навигационном сообщении, транслируемом спутником, и могут быть записаны в процессе проведения измерений. Высокоточные эфемериды являются результатом постобработки наблюдений и поставляются различными организациями. Необходимо выбрать файл содержащий данные эфемерид. Для этого адрес нужного файла вводится в первую строку текстового поля «RINEX * NAV / CLK, SP3, IONEX или SBS / EMS» либо используется диалоговое окно для выбора нужного файла. В случае использования бортовых эфемерид используются файлы RINEX с расширением Nav (.N). Если данное поле оставить пустым программа будет автоматически использовать файл Nav (.N) с тем же названием что и файл в поле "RINEX OBS(: Rover)". Если планируется использовать навигационные системы GLONASS, Galileo, QZSS и SBAS необходимо использовать соответствующие выбранной системе файлы в формате RINEX (.G, .H, .Q и .P). Чтобы использовать, точные эфемериды и часы для режимов PPP-Kinematic, PPP-Static или PPP-Fixed, необходимо ввести путь к файлу SP3-с (для точных спутниковых эфемерид и часов) или RINEX CLK (для точных спутниковых часов) в поле «RINEX * NAV / CLK, SP3, IONEX или SBS / EMS». Есть возможность ввести путь к файлу IONEX 1.0 для корректировки ионосферной задержки посредством ионосферной сетки VTEC (вертикальное полное электронное содержание). Для использования коррекций SBAS вы можете ввести путь к файлу журнала сообщений SBAS в формате RTKLIV или в формате XML (EGNOS) 2.0. В программном пакете есть возможность вводить поправки SSR (представление состояния пространства) как сообщения RTCM 3 в поле входного файла.

5. Введите путь выходного файла (файла содержащего результаты обработки) в текстовое поле «Solution». Поле автоматически устанавливается в качестве первого пути входного файла с расширением, замененным на .ros

или .nmea. Если вы установите флажок «Dir» и заполните поле, выходной каталог будет сохраняться в указанной пути (папке). Вы можете изменить путь к выходному файлу вручную, отредактировав содержимое поля.

6. Нажмите кнопку для установки параметров обработки. Настройте параметры позиционирования для RTKPOST. Вы можете установить время начала или окончания, проверив и установив в главном окне поле Time Start (GPST) или Time End (GPST). Вы также можете установить временной интервал, редактируя поле "Interval". С помощью кнопки , вы можете преобразовать момент времени по шкале GPS time в моменты времени по шкалам UTC, GPS Week/TOW, Day of Year, Day of Week, Time of Day и Leap Seconds.
7. Нажмите кнопку , чтобы начать анализ. Статус обработки отображается в нижней части поля состояния в главном окне. Когда вы увидите сообщение «done» в данном месте, это означает, что анализ завершен. Если вы хотите прервать обработку посреди процесса, нажмите кнопку .
8. После завершения анализа, нажав можно отобразить содержимое выходного файла с помощью утилиты «Text Viewer». Вы также можете перезагрузить выходной файл, нажав в окне "Text Viewer". Чтобы закрыть окно, нажмите . Также возможно настроить параметры "Text Viewer", нажав . А также искать строки в тексте, используя кнопку .
9. Нажимая кнопку , вы также можете графически отобразить результат на плоскости с помощью RTKPLOT.
10. Нажав на кнопку , выходной файл можно преобразовать в файл Google Earth KML в диалоговом окне «Google Earth Converter». Задайте или выберите параметры и нажмите в данном окне. Также существует возможность запуска Google Earth сгенерированным файлом KML / KMZ, нажав клавишу .

2. НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ В RTKPOST

Настройка параметров обработки ГНСС-измерений программе RTKPOST выполняется при помощи окна «Options». Чтобы открыть окно параметров необходимо нажать кнопку «Options...» в главном окне RTKPOST. Настроенные в этом окне параметры можно сохранить как файл конфигурации, при помощи кнопки «Save...». Параметры также можно загрузить из файла конфигурации, нажав кнопку «Load...» и выбрав файл конфигурации.

Окно «Options» содержит семь вкладок, в которых сгруппированы по смыслу настраиваемые параметры. Рассмотрим последовательно все вкладки и настраиваемые в них параметры.

2.1. ВКЛАДКА «SETTING1»

Вкладка «Setting1» содержит основные настройки позиционирования.

1. Параметр режим позиционирования «Positioning Mode» позволяет выбрать один из предложенных режимов обработки измерений:
 - a. Single: позиционирование в навигационном режиме;
 - b. DGPS/DGNSS: дифференциальное позиционирование по кодовым псевдодальностям;
 - c. Statik: статическое позиционирование по измерениям фазы несущей;
 - d. Kinematik: кинематическое позиционирование по измерениям фазы несущей;
 - e. Moving-Base: позиционирование в режиме подвижной базы;
 - f. Fixed: позиционирование с заданными координатами ровера;
 - g. PPP Kinematic: кинематическое позиционирование в режим PPP;
 - h. PPP Static: статическое позиционирование в режим PPP;
 - i. PPP Fixed: позиционирование в режиме PPP с заданными координатами ровера;
2. Параметр используемые несущие частоты позволяет выбрать, какие из частот будут участвовать в обработке
 - a. L1: используется одна частота;

- b. L1 + 2: используются две частоты;
 - c. L1 + 2 + 5: используются три частоты;
3. Параметр тип фильтра «Filter type» позволяет выбрать направление обработки:
- a. Forward: в решение используется направление «прямо»;
 - b. Backward: в решении используется направление «обратно»;
 - c. Combined: в решении используются оба направления;
4. Параметр «Elevation Mask» позволяет задать угол отсечки спутников. Данный параметр задаётся как угол от горизонта в градусной мере.
5. Параметр маска для отношения сигнал/шум «SNR Mask» позволяет задать допустимые значения отношения сигнал шум для спутников в зависимости от их возвышения (угла места). Для ввода данного параметра используется дополнительное окно «SNR Mask» (см. рис №1). При помощи переключателей «Rover» и «Base Station» выбирается, для каких из данных наблюдений будет использоваться введённая маска.
6. Параметр «Res Dynamics» позволяет выбрать будут ли при обработке оцениваться скорости и ускорения:
- a. OFF: оценка не производится;
 - b. ON: оценка производится;
7. Параметр коррекция за земные приливы «Earth Tides Correction» позволяет настроить введение поправок за приливы в твёрдом теле земли и за влияние океанических приливов. Для использования этих коррекций необходимо использование дополнительных файлов (см. вкладку «Files»):
- a. OFF: коррекция не производится;
 - b. Solid: производится коррекция за приливы в твёрдом теле Земли;
 - c. Solid / OTL: производится коррекция и за приливы в твёрдом теле Земли и за влияние океанических приливов;
8. Параметр ионосферная коррекция «Ionosphere Correction» позволяет настроить тип ионосферной коррекции результатов измерений:
- a. OFF: коррекция за ионосферную задержку не производится;

- b. Broadcast: ионосферная коррекция выполняется по широковещательной модели ионосферы, предоставляемой GPS;
 - c. SBAS: ионосферная коррекция выполняется по ионосферной модели SBAS;
 - d. Iono-Free LC: применение дисперсионного метода для ионосферной коррекции;
 - e. Estimate STEC: оценка ионосферной задержки для каждого спутника в ходе обработки;
 - f. IONEX TEC: ионосферная коррекция выполняется по данным ионосферной сетки IONEX TEC;
 - g. QZSS Broadcast: ионосферная коррекция выполняется по широковещательной ионосферной модели, предоставляемой QZSS;
9. Параметр тропосферная коррекция «Troposphere Correction» позволяет настроить тип тропосферной коррекции результатов измерений:
- a. OFF:
 - b. Saastamoinen: применить модель Саастамойнена;
 - c. SBAS: применить тропосферную модель SBAS (MOPS);
 - d. Estimate ZTD: оценивать вертикальную тропосферную задержку в процессе обработки;
 - e. Estimate ZTD+Grad: оценивать вертикальную ионосферную задержку и горизонтальный градиент в процессе обработки;
10. Параметр тип эфемерид «Satellite Ephemeris/Clock» позволяет настроить тип используемых эфемерид спутников;
- a. Broadcast: используются бортовые эфемериды;
 - b. Precise: используются точные эфемериды;
 - c. Broadcast + SBAS: используются бортовые эфемериды с поправками SBAS;
 - d. Broadcast + SSR APC: используются бортовые эфемериды с поправками SSR (для фазового центра передающей антенны);

- е. Broadcast + SSR CoM: используются бортовые эфемериды с поправками SSR (для центра масс спутника);
- 11. Флаг «Sat PCV» определяет, будут ли использоваться данные о положении фазового центра антенны спутника;
- 12. Флаг «Res PCV» определяет, будут ли использоваться данные о положении фазового центра антенны приёмника;
- 13. Флаг «PhWindup» определяет, будет ли применяться коррекция фазы в режиме PPP;
- 14. Флаг «Reject Ecl» определяет, будут ли исключаться спутники GPS Block IIА в затмении;
- 15. Флаг «RAIM FDE» определяет, будет ли использоваться режим RAIM (автономный контроль целостности сигнала);
- 16. В поле исключаемые спутники «Excluded Satellites» вводятся номера спутников, которые необходимо исключить из обработки. В поле вводятся номера PRN спутников, разделенные пробелами. Для ГЛОНАСС, Галилея, QZSS, BeiDou и SBAS используют префикс Rnn, Enn, Jnn, Cnn и Snn соответственно;
- 17. Флаги использования навигационных систем для обработки определяют, какие ГНСС будут использоваться. Флаги: GPS, ГЛОНАСС, Галилео, QZSS, SBAS, BeiDou;

2.2. ВКЛАДКА «SETTING2»

Вкладка «Setting2» содержит дополнительные настройки позиционирования:

1. Параметр метод разрешения фазовой неоднозначности «Integer Ambiguity Res» определяет, как будет разрешаться фазовая неоднозначность;
 - а. GPS:
 - i. OFF: неоднозначность не разрешается;
 - ii. Continuous: непрерывное разрешение неоднозначности;
 - iii. Instantaneous: независимое разрешение неоднозначности для каждой эпохи;

- iv. Fix and Hold: целочисленное разрешение неоднозначностей для статических измерений;
 - v. PPP-AR: Разрешения неоднозначностей в режиме PPP;
- b. ГЛОНАСС:
- i. OFF: неоднозначность не разрешается;
 - ii. ON: неоднозначность разрешается. Обычно неоднозначность успешно разрешается, только если в качестве опорного и определяемого приёмника выступают приборы одного типа. Причина этого в разных межканальных задержках для разных типов приборов;
 - iii. Auto calibration: разрешение неоднозначностей с оцениванием межканальных задержек приёмников как функций частоты;
2. Min Ratio to Fix Ambiguity: устанавливает минимальное соотношение для фиксации неоднозначности при обработке измерений в относительном режиме;
 3. Min Confidence to Fix Ambiguity: устанавливает минимальный уровень значимости, при котором неоднозначность считается разрешённой при обработке в режиме PPP;
 4. Max FCB to Fix Ambiguity: устанавливает максимальное значение частотного смещения для разрешения неоднозначности при обработке в режиме PPP;
 5. Min Lock / Elevation to Fix Ambiguity: устанавливает минимальное значение сбоев цепи слежения и минимальный угол места для разрешения неоднозначности;
 6. Min Fix / Elevation to Hold Ambiguity: устанавливает минимальное значение сбоев цепи слежения и минимальный угол места для удержания значения неоднозначности;
 7. Outage to Reset Ambiguity/Slip Thres (m): устанавливает счётчик сбоев в цепи слежения для сброса значения неоднозначности и максимальное значение проскальзывания цикла;

8. Max Age of Diff (s): устанавливает максимальный возраст дифференциального решения;
9. Reject Threshold of GDOP / Innov (m): устанавливает максимальное значение GDOP и Innov при которых измерения исключаются из обработки;
10. Number of Filter Iteration: устанавливает число итераций фильтра. Итерации могут быть эффективны для коротких базовых линий;
11. Baseline Length Constraint: функция позволяет установить значение длины базовой линии для обработки в режиме подвижной базы. Вводится длина базовой линии и её СКП;

2.3. ВКЛАДКА «OUTPUT»

Вкладка «Output» содержит параметры позволяющие настроить вывод результатов обработки в файл:

1. Solution Format – устанавливает формат в котором будут представлены результаты обработки:
 - a. Lat/Lon/Height: широта, долгота и эллипсоидальная высота;
 - b. X/Y/Z-ECEF: прямоугольные пространственные координаты в геоцентрической фиксированной системе координат;
 - c. E/N/U-Baseline: компоненты вектора базовой линии в топоцентрической системе координат;
 - d. NMEA0183: сообщения в формате NMEA0183.
2. Параметр вывод заголовка «Output Header» позволяет определить будет ли в файл решения выводиться заголовок.
3. Параметр формат времени «Time Format», позволяет задать в каком формате будет в файле решения выводиться время:
 - a. ssssssss.sss GPST: номер недели GPS и время от начала недели в секундах;
 - b. hh: mm: ss GPST: yyyy / mm / dd hh: mm: ss GPST;
 - c. hh: mm: ss UTC: yyyy / mm / dd hh: mm: ss UTC;
 - d. hh: mm: ss JST: yyyy / mm / dd hh: mm: ss JST;

4. Параметр # of Decimals позволяет задать число знаков после запятой для вывода времени;
5. Параметр формат вывода широты и долготы позволяет задать в каком формате будут выводиться широты и долготы в файле решения:
 - a. ddd.ddddddd: градусы;
 - b. ddd mm ss.sss: градусы, минуты, секунды;
6. Параметр установить разделитель позволяет задать знак разделитель для файла решения;
7. Параметр система координат позволяет задать систему координат в которой будут представлены координаты в файле решения;
8. Параметр формат высоты позволяет задать тип высоты который будет использоваться в файле решения:
 - a. Ellipsoidal: эллипсоидальные высоты;
 - b. Geodetic: ортометрические высоты;
9. Параметр модель геоида «Geoid Model» позволяет выбрать модель геоида используемую для вычисления ортометрических высот;
10. Параметр «Solution for Static Mode» определяет сколько решений будет выведено в файл решения при обработки статических измерений:
 - a. All: все полученные решения (для каждой эпохи);
 - b. Single: одно решение;
11. Параметр Output Solution Status позволяет задать, как будет выводиться статус решения в файл решения.

2.4. ВКЛАДКА «STATS»

Блок параметров ошибки измерений «Measurement Errors (1-sigma)» позволяет задать априорные значения ошибок измерений:

1. Отношение ошибки кодовых измерений к ошибке фазовых измерений для частот L1 и L2;
2. Случайная ошибка фазовых измерений и период систематической ошибки фазовых измерений зависящей от угла места спутника;

3. Зависимость ошибки фазовых измерений от длины базовой линии, выраженная в метрах на 10 км. базовой линии;

Блок параметров «Process Noises» позволяет задать случайные шумы процессов влияющих на результаты измерений. Шумы задаются как среднее квадратическое отклонение деленное на корень из расстояния.

- 1) Параметр «Receiver Accel Horiz/Vertical» позволяет охарактеризовать возможные горизонтальные и вертикальные ускорения приёмной ГНСС-антенны. Эти параметры используются, только если параметр «Rec Dynamics» установлен как «ON»;
- 2) Параметр «Carrier-Phase Bias» позволяет охарактеризовать случайные шумы измерения фазы несущей;
- 3) Параметр «Vertical Ionospheric Delay» позволяет охарактеризовать шумы вертикальной ионосферной задержки для базовой линии длиной 10 километров;
- 4) Параметр «Zenith Tropospheric Delay» позволяет охарактеризовать шумы вертикальной тропосферной задержки для базовой линии длиной 10 километров;
- 5) Параметр «Satellite Clock Stability» позволяет охарактеризовать стабильность часов спутника;

2.5. ВКЛАДКА «POSITIONS»

Вкладка «Positions» позволяет задать координаты опорного приёмника при обработке в относительном режиме:

1. Параметр «Rover Lat/Lon/Height (deg/m)» позволяет задать координаты ровера если ровер зафиксирован.
2. Параметр «Base Station Lat/Lon/Height (deg/m)» позволяет задать координаты базовой станции:
 - a. Lat/Lon/Height (deg/m): ввод эллипсоидальных координат вручную (углы вводятся как градусы с дробной частью);
 - b. Lat/Lon/Height (dms/m): ввод эллипсоидальных координат вручную (углы вводятся как градусы, минуты и секунды);

- c. X/Y/Z-ECEF (m): ввод прямоугольных координат вручную;
 - d. Average of Single-Pos: использовать средние координаты из обработки в режиме «Single»;
 - e. Get from Position File: получить координаты из файла;
 - f. RINEX Header Position: использовать координаты из заголовка файла RINEX;
3. Параметр «Antenna Type» позволяет задать тип ГНСС-антенны. Тип антенны может быть выбран из списка, если во вкладке «файлы» выбран «Antenna PCV File». Если в этом поле введён символ «*» то используются параметры антенны из заголовка файла RINEX;
 4. Поле «Delta E/N/U» позволяет ввести элементы приведения координат к центру пункта. Элементы вводятся как приращения топоцентрических горизонтных координат ARP ГНСС-антенны относительно центра пункта;
 5. Поле «Station Position File» позволяет ввести адрес файла координат станций или файла SINEX.

2.6. ВКЛАДКА «FILES»

Вкладка «Files» позволяет ввести адреса файлов с дополнительными данными, используемыми при обработке:

1. Поле «Satellite Antenna PCV File ANTEX» позволяет ввести адрес файла содержащего элементы приведения координат спутника к фазовому центру передающей антенны;
2. Поле «Receiver Antenna PCV File ANTEX or NGS PCV» позволяет ввести адрес файла параметров приёмной ГНСС-антенны в формате ANTEX или NGS;
3. Поле «Geoid Data File» позволяет ввести адрес файла модели геоида;
4. Поле «DCB Data File» позволяет ввести адрес файла межканальных задержек спутников;
5. Поле «EOP Data File» позволяет ввести адрес файла данных EOP;
6. Поле «Ocean Loading BLQ Format» позволяет ввести адрес файла данных OTL в формате BLQ;

7. Поле «Google Earth Exe File» позволяет ввести адрес исполняемого файла Google Earth;

2.7. ВКЛАДКА «MISC»

Вкладка «Misc» позволяет настроить некоторые дополнительные параметры обработки:

1. Параметр «Time Interpolation of Base Station Observation Data» позволяет задать, будут ли интерполироваться данные для базовой станции при обработке в относительном режиме.
2. Поле «SBAS Satellite Selection» позволяет ввести номер используемого спутника SBAS. В случае если в данном поле введено «0», используются все имеющиеся данные;
3. Поле «RINEX Opt (Rover)» позволяет ввести параметры считывания фазовых измерений для ровера;
4. Поле «RINEX Opt (Base)» позволяет ввести параметры считывания фазовых измерений для базы;

3. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

3.1. СТАТИЧЕСКОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Обработка статических ГНСС-измерений в режиме PPP

Цель практической работы: Овладеть навыками обработки статических ГНСС-измерений в режиме Precise Point Positioning (PPP) при помощи программного пакета RTKLIV.

Задачи практической работы:

- 1) используя табл. 1 выбрать файлы измерений и файлы коррекций в соответствии с номером варианта;
- 2) используя FTP-сервер IGS (<ftp://ftp.igs.org>) скачать файлы точных эфемерид в формате SP3 для спутников GPS(<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>) и ГЛОНАСС (<ftp://ftp.igs.org/pub/glonass/products/>). Используя FTP-сервер IGS (<ftp://ftp.igs.org>) скачать файлы коррекций часов в формате CLK с дискретностью данных 30 секунд для спутников GPS (<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>) и ГЛОНАСС (<ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/PRODUCTS/>).
- 3) в окне «RTKPOST» ввести адреса файла измерений (см. табл. 1) и файлы точных эфемерид и коррекций часов;
- 4) настроить параметры обработки измерений в окне «Options» программы RTKPOST. Необходимо задать следующие параметры:
 - a. Режим позиционирования: PPP Static;
 - b. Ионосферная коррекция: Iono-Free LC;
 - c. Тропосферная коррекция: Estimate ZTD;
 - d. Тип эфемерид: Precise;
 - e. Earth Tides Correction: Solid / OTL;
 - f. Флаг «Sat PCV» включён;
 - g. Флаг «Rec PCV» включён;
 - h. Флаги «GPS» и «GLO» включены;

i. Integer Ambiguity Res: OFF;

- 5) в окне «Options» во вкладке «Files» вести адреса файлов параметров антенн спутников, параметров антенны приёмника и модели приливов (см. табл. 1);
- 6) обработать измерения, используя программу RTKPOST с настроенными параметрами обработки;
- 7) используя программу RTKPLOT построить графики «Gnd Trk», «Position», «Velocity», «Accel», «NSat».

Отчёт по выполнению практической работы должен содержать:

- Титульный лист.
- Теоретическую часть: описание используемого программного обеспечения, информация о высокоточных эфемеридах, информация о дисперсном методе ионосферной коррекции, информация о позиционировании в режиме PPP, описание алгоритма выполнения работы. Объём текста 3-4 страницы.
- Список файлов полученных в процессе выполнения работ в следующем формате: «название файла» / «номер задачи, в рамках которой создан файл» / «пояснение по содержанию файла».
- Изображения, созданные в программе RTKPLOT.
- Выводы по выполнению работы.

Электронные материалы по выполнению практической работы должен содержать:

- Архив в формате «rar»/«zip» содержащий исходные файлы и все файлы полученный в ходе выполнения практической работы. Названия всех файлов должны соответствовать названиям, указанным в расчёте.

Исходные данные для практической работы №1

Номер студента по списку	Название исходного файла данных измерений	Sat PCV	Rec PCV	Solid / OTL
1	Obs_V1	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V1	OTL_V1
2	Obs_V2	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V2	OTL_V1
3	Obs_V3	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V3	OTL_V1
4	Obs_V4	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V4	OTL_V1
5	Obs_V5	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V5	OTL_V1
6	Obs_V6	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V6	OTL_V1
7	Obs_V7	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V7	OTL_V1
8	Obs_V8	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V8	OTL_V1
9	Obs_V9	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V9	OTL_V1
10	Obs_V10	Sat_PCV_V1	Rec_PCV_V10	OTL_V1
11	Obs_V11	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V11	OTL_V1
12	Obs_V12	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V12	OTL_V1
13	Obs_V13	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V13	OTL_V1
14	Obs_V14	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V14	OTL_V1
15	Obs_V15	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V15	OTL_V1
16	Obs_V16	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V16	OTL_V1
17	Obs_V17	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V17	OTL_V1
18	Obs_V18	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V18	OTL_V1
19	Obs_V19	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V19	OTL_V1
20	Obs_V20	Sat_PCV_V2	Rec_PCV_V20	OTL_V1
21	Obs_V21	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V21	OTL_V1
22	Obs_V22	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V22	OTL_V1
23	Obs_V23	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V23	OTL_V1
24	Obs_V24	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V24	OTL_V1
25	Obs_V25	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V25	OTL_V1
26	Obs_V26	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V26	OTL_V1
27	Obs_V27	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V27	OTL_V1
28	Obs_V28	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V28	OTL_V1
29	Obs_V29	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V29	OTL_V1
30	Obs_V30	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V30	OTL_V1

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Обработка статических ГНСС-измерений в режиме PPP с разрешением фазовых неоднозначностей

Цель практической работы: Овладеть навыками обработки статических ГНСС-измерений в режиме Precise Point Positioning (PPP) с разрешением фазовой неоднозначности при помощи программного пакета RTKLIB.

Задачи практической работы:

- 1) используя табл. 1 выбрать файлы измерений и файлы коррекций в соответствии с номером варианта;
- 2) используя FTP-сервер IGS (<ftp://ftp.igs.org>) скачать файлы точных эфемерид в формате SP3 для спутников GPS(<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>) и ГЛОНАСС (<ftp://ftp.igs.org/pub/glonass/products/>). Используя FTP-сервер IGS (<ftp://ftp.igs.org>) скачать файлы коррекций часов в формате CLK с дискретностью данных 30 секунд для спутников GPS (<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>) и ГЛОНАСС (<ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/PRODUCTS/>);
- 3) используя программное обеспечение RTKGET (из программного пакета RTKLIB) скачать файлы ионосферных сеток в формате IONEX;
- 4) в окне «RTKPOST» ввести адреса файла измерений (см. табл. 1) и файлы точных эфемерид и коррекций часов;
- 5) настроить параметры обработки измерений в окне «Options» программы RTKPOST. Необходимо задать следующие параметры:
 - a. Режим позиционирования: PPP Static;
 - b. Ионосферная коррекция: IONEX TEC;
 - c. Тропосферная коррекция: Estimate ZTD;
 - d. Тип эфемерид: Precise;
 - e. Earth Tides Correction: Solid / OTL;
 - f. Флаг «Sat PCV» включён;
 - g. Флаг «Rec PCV» включён;
 - h. Флаги «GPS» и «GLO» включены;
 - i. Integer Ambiguity Res: PPP-AR;
- 6) в окне «Options» во вкладке «Files» ввести адреса файлов параметров антенн спутников, параметров антенны приёмника и модели приливов (см. табл. 1);
- 7) обработать измерения, используя программу RTKPOST с настроенными параметрами обработки;

- 8) используя программу RTKPLOT построить графики «Gnd Trk», «Position», «Velocity», «Accel», «NSat».
- 9) выполнить сравнение результатов обработки полученных в практической работе №1 и в практической работе №2.

Отчёт по выполнению практической работы должен содержать:

- Титульный лист.
- Теоретическую часть: описание используемого программного обеспечения, информация о высокоточных эфемеридах и ионосферных сетках, информация о позиционировании в режиме PPP, описание алгоритма выполнения работы. Объём текста 3-4 страницы.
- Список файлов полученных в процессе выполнения работ в следующем формате: «название файла» / «номер задачи, в рамках которой создан файл» / «пояснение по содержанию файла».
- Изображения, созданные в программе RTKPLOT.
- Выводы по выполнению работы.

Электронные материалы по выполнению практической работы должен содержать:

- Архив в формате «rar»/«zip» содержащий исходные файлы и все файлы полученный в ходе выполнения практической работы. Названия всех файлов должны соответствовать названиям, указанным в расчёте.

3.2. КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Обработка кинематических ГНСС-измерений в режиме PPP

Цель практической работы: Овладеть навыками обработки кинематических ГНСС-измерений в режиме Precise Point Positioning (PPP) при помощи программного пакета RTKLIV.

Задачи практической работы:

- 1) используя табл. 2 выбрать файлы измерений и файлы коррекций в соответствии с номером варианта;

- 2) используя FTP-сервер IGS (<ftp://ftp.igs.org>) скачать файлы точных эфемерид в формате SP3 для спутников GPS(<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>) и ГЛОНАСС (<ftp://ftp.igs.org/pub/glonass/products/>). Используя FTP-сервер IGS (<ftp://ftp.igs.org>) скачать файлы коррекций часов в формате CLK с дискретностью данных 30 секунд для спутников GPS (<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>) и ГЛОНАСС (<ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/PRODUCTS/>).
- 3) в окне «RTKPOST» ввести адреса файла измерений (см. табл. 2) и файлы точных эфемерид и коррекций часов;
- 4) настроить параметры обработки измерений в окне «Options» программы RTKPOST. Необходимо задать следующие параметры:
 - a. Режим позиционирования: PPP Kinematic;
 - b. Ионосферная коррекция: Iono-Free LC;
 - c. Тропосферная коррекция: Estimate ZTD;
 - d. Тип эфемерид: Precise;
 - e. Флаг «Sat PCV» включён;
 - f. Флаг «Res PCV» включён;
 - g. Флаг «RAIM FDE» включён;
 - h. Флаги «GPS» и «GLO» включены;
 - i. Integer Ambiguity Res: OFF;
- 5) в окне «Options» во вкладке «Files» ввести адреса файлов параметров антенн спутников, параметров антенны приёмника (см. табл. 2);
- 6) обработать измерения, используя программу RTKPOST с настроенными параметрами обработки;
- 7) используя программу RTKPLOT построить графики «Gnd Trk», «Position», «Velocity», «Accel», «NSat».

Отчёт по выполнению практической работы должен содержать:

- Титульный лист.
- Теоретическую часть: описание используемого программного обеспечения, информация о высокоточных эфемеридах, информация о

дисперсном методе ионосферной коррекции, информация о позиционирование в режиме PPP, описание алгоритма выполнения работы. Объём текста 3-4 страницы.

- Список файлов полученных в процессе выполнения работ в следующем формате: «название файла» / «номер задачи, в рамках которой создан файл» / «пояснение по содержанию файла».
- Изображения, созданные в программе RTKPLOT.
- Выводы по выполнению работы.

Электронные материалы по выполнению практической работы должен содержать:

- Архив в формате «rar»/«zip» содержащий исходные файлы и все файлы полученный в ходе выполнения практической работы. Названия всех файлов должны соответствовать названиям, указанным в расчёте.

Таблица 2

Исходные данные для практической работы №3

Номер студента по списку	Название исходного файла данных измерений	Sat PCV	Rec PCV
1	Obs_V1K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V1
2	Obs_V2K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V2
3	Obs_V3K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V3
4	Obs_V4K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V4
5	Obs_V5K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V5
6	Obs_V6K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V6
7	Obs_V7K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V7
8	Obs_V8K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V8
9	Obs_V9K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V9
10	Obs_V10K	Sat_PC_V1	Rec_PC_V10
11	Obs_V11K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V11
12	Obs_V12K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V12
13	Obs_V13K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V13
14	Obs_V14K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V14
15	Obs_V15K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V15
16	Obs_V16K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V16
17	Obs_V17K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V17
18	Obs_V18K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V18
19	Obs_V19K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V19
20	Obs_V20K	Sat_PC_V2	Rec_PC_V20
21	Obs_V21K	Sat_PC_V3	Rec_PC_V21

Окончание табл. 2

22	Obs_V22K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V22
23	Obs_V23K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V23
24	Obs_V24K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V24
25	Obs_V25K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V25
26	Obs_V26K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V26
27	Obs_V27K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V27
28	Obs_V28K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V28
29	Obs_V29K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V29
30	Obs_V30K	Sat_PCV_V3	Rec_PCV_V30

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

Обработка кинематических ГНСС-измерений в режиме PPP с использованием модели геоида

Цель практической работы: Овладеть навыками обработки кинематических ГНСС-измерений в режиме Precise Point Positioning (PPP) с использованием модели геоида при помощи программного пакета RTKLIV.

Задачи практической работы:

- 1) используя табл. 2 выбрать файлы измерений и файлы коррекций в соответствии с номером варианта;
- 2) используя табл. 3 выбрать файлы модели геоида;
- 3) используя FTP-сервер IGS (<ftp://ftp.igs.org>) скачать файлы точных эфемерид в формате SP3 для спутников GPS(<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>) и ГЛОНАСС (<ftp://ftp.igs.org/pub/glonass/products/>). Используя FTP-сервер IGS (<ftp://ftp.igs.org>) скачать файлы коррекций часов в формате CLK с дискретностью данных 30 секунд для спутников GPS (<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>) и ГЛОНАСС (<ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/PRODUCTS/>).
- 4) в окне «RTKPOST» ввести адреса файла измерений (см. табл. 2) и файлы точных эфемерид и коррекций часов;
- 5) настроить параметры обработки измерений в окне «Options» программы RTKPOST. Необходимо задать следующие параметры:
 - а. Режим позиционирования: PPP Kinematic;

- b. Ионосферная коррекция: Iono-Free LC;
 - c. Тропосферная коррекция: Estimate ZTD;
 - d. Тип эфемерид: Precise;
 - e. Флаг «Sat PCV» включён;
 - f. Флаг «Res PCV» включён;
 - g. Флаг «RAIM FDE» включён;
 - h. Флаги «GPS» и «GLO» включены;
 - i. Integer Ambiguity Res: OFF;
 - j. Geoid Model: Internal;
- 6) в окне «Options» во вкладке «Files» вести адреса файлов параметров антенн спутников, параметров антенны приёмника (см. табл. 2) и модели геоида (см. табл. 3);
- 7) обработать измерения, используя программу RTKPOST с настроенными параметрами обработки;
- 8) используя программу RTKPLOT построить графики «Gnd Trk», «Position», «Velocity», «Accel», «NSat».

Отчёт по выполнению практической работы должен содержать:

- Титульный лист.
- Теоретическую часть: описание используемого программного обеспечения, информация о высокоточных эфемеридах, информация о дисперсном методе ионосферной коррекции, информация о позиционировании в режиме PPP, описание алгоритма выполнения работы. Объём текста 3-4 страницы.
- Список файлов полученных в процессе выполнения работ в следующем формате: «название файла» / «номер задачи, в рамках которой создан файл» / «пояснение по содержанию файла».
- Изображения, созданные в программе RTKPLOT.
- Выводы по выполнению работы.

- *Электронные материалы по выполнению практической работы должен содержать:*
- Архив в формате «rar»/«zip» содержащий исходные файлы и все файлы полученный в ходе выполнения практической работы. Названия всех файлов должны соответствовать названиям, указанным в расчёте.

Таблица 3

Исходные данные для практической работы №4

	Группа №1	Группа №2	Группа №3	Группа №4
Файл модели геоида	GEOID_V1	GEOID_V2	GEOID_V3	GEOID_V4

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W. Gurtner, RINEX The Receiver Independent Exchange Format Version 2.10, December 10, 2007.
2. J. Kouba, A guide to using International GNSS Service (IGS) products, May 2009.
3. ГОСТ Р52928-2010. Система Спутниковая Навигационная Глобальная – Термины и определения. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, М.: Стандартинформ, 2011. – 16 с.
4. P. J. G. Teunissen, A. Kleusberg (Eds.), GPS for Geodesy, 2nd edition, Springer, 1998.

Внутривузовское издание

Подписано в печать 15.11.2017.

Гарнитура Таймс Формат 60×90/16

Бумага офсетная Объем 2,0 усл. печ. л

Тираж 25 экз. Заказ № 95

Отпечатано в УПП «Репрография» МИИГАиК