

# ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕШЕНИЯ В РЕЖИМЕ PPP STATIC В ПРОГРАММЕ RTKLIV

**В.Ю. Афанасьев** («НИИ прикладной акустики», Дубна)

В 2017 г. окончил магистратуру геодезического факультета МИИГАиК с присвоением квалификации «магистр» по направлению «геодезия и дистанционное зондирование». С 2015 г. работал в ООО «Топкон Позишининг Системс», с 2017 г. — в ООО «Мостоотряд-55». С 2019 г. работает в ФГУП «НИИ прикладной акустики», в настоящее время — научный сотрудник.

Среди автономных методов определения пространственных координат особого внимания заслуживает метод точного позиционирования Precise Point Positioning (PPP), разработанный компанией NovAtel (Канада) и реализованный в программе GrafNav [1, 2]. Этот метод позволяет определять пространственные координаты по абсолютным фазовым ГНСС-наблюдениям с погрешностью 1–6 см за счет включения в обработку значений точных эфемерид и поправок часов навигационных спутников, информации о задержке навигационного сигнала в ионосфере и тропосфере и других данных, предоставляемых через сеть Интернет центрами обработки информации глобальных навигационных спутниковых систем.

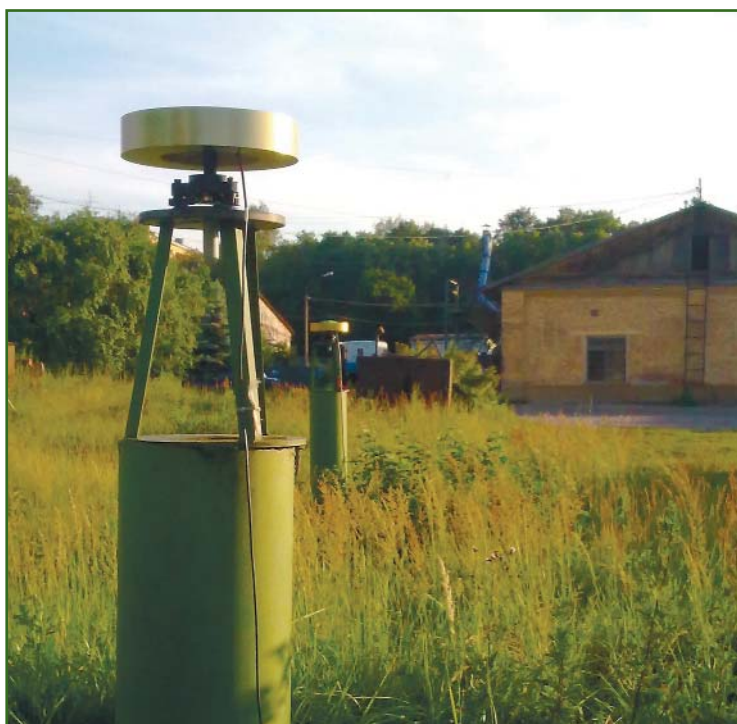
Внедрение метода PPP в практику спутниковых геодезических измерений требует исследования возможностей существующих программных средств и влияния точности параметров эфемерид и поправок часов на определение пространственных координат.

В качестве исходных данных для проведения исследований были приняты непрерывные спутниковые измерения, выполненные автором в течение пяти дней на четырех пунктах геодинамического полигона «Лёдово»

во» во время прохождения производственной практики в 2014 г. в лаборатории спутниковых методов изучения геофизических процессов № 203 Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН).

Геодинамический полигон «Лёдово» ИФЗ РАН находится в населенном пункте Долгое Лёдово (Щелковский район, Московская область). На террито-

рии полигона имеется 4 пункта: LED0, LED2, LED3, LED4. Пункт LED0 входит в Московскую геодинамическую сеть, а периодические спутниковые измерения на нем ведутся с 1995 г. Все пункты имеют следующую конструкцию: обратный отвес, заглубленный в грунт на глубину 20–22 м. Условия для спутниковых наблюдений на пунктах можно считать достаточно благоприятными (рис. 1).



**Рис. 1**

Спутниковые антенны, установленные на пунктах геодинамического полигона «Лёдово»

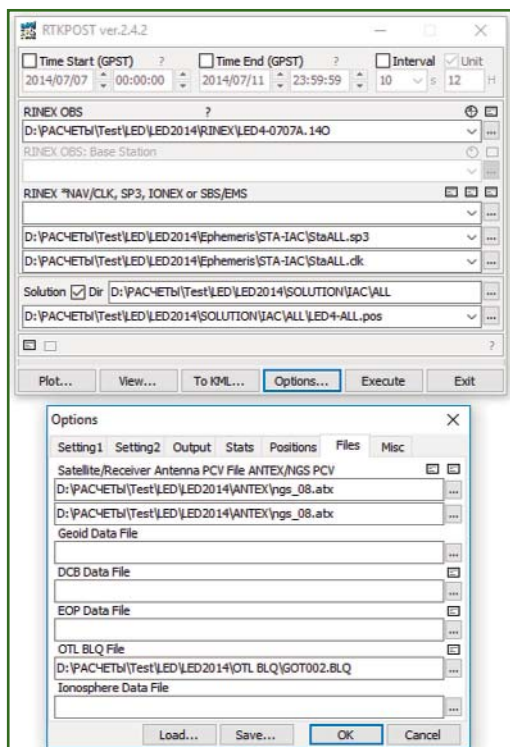


Рис. 2

Файлы, использованные для обработки спутниковых измерений в режиме PPP Static в программе RTKLib

Измерения на геодинимическом полигоне проводились непрерывно с 7 по 11 июля 2014 г. одновременно на четырех пунктах при помощи четырех двухчастотных геодезических спутниковых приемников JAVAD Maxor-GGDT и четырех антенн JAVAD RingAnt-G3T в режиме «статика» с регистрацией сигналов GPS и ГЛОНАСС с длительностью цикла измерений 30 с и маской угла возвышения спутников  $10^\circ$ .

Спутниковые измерения обрабатывались в научной программе Bernese Астрономического института Университета Берна (Швейцария). Положение пунктов геодинимического полигона определялось относительно четырех пунктов Международной службы ГНСС (IGS) — KHAR (Харьков, Украина), POLV (Полтава, Украина), MOBN (Обнинск, Калужская область) и SVTL (п. Светлое, Ленинградская область), а также пункта ФАГС CNG1 (ЦНИИГАиК), координаты

которых заданы с высокой точностью в системе WGS-84. В результате обработки были получены уравненные геоцентрические и геодезические координаты всех пунктов. Средние квадратические ошибки (СКО) координат не превысили 2 мм в плане и по высоте. Значения координат, полученные в программе Bernese, в дальнейших исследованиях были приняты за истинные.

Из результатов спутниковых измерений 2014 г. были выбраны данные за 5 суток и с интервалами в 12 часов, которые использовались для вычисления координат четырех пунктов геодинимического полигона в программе RTKLib ver.2.4.2 в режиме PPP Static [3].

При обработке использовались следующие данные (рис. 2):

- файл с данными наблюдений и файлы навигационных данных для спутников GPS и ГЛОНАСС в формате RINEX;

- файлы точных эфемерид и поправок часов спутников;

- файл в формате ANTEX, содержащий параметры антенн спутников для учета вариации фазового центра антенн спутников;

- файл в формате ANTEX, содержащий параметры антенн приемников для учета вариации фазового центра антенн приемников;

- файл данных коррекции за океанические приливы в формате BLQ (<http://holt.oso.chalmers.se/loading>).

Для каждого пункта были указаны тип антенны (JAV\_RingAnt\_G3T) и высота опорной точки антенны (ARP) над центром пункта (рис. 3).

Финальные точные эфемериды и поправки часов спутников навигационных систем GPS и ГЛОНАСС были взяты из открытого ресурса, предоставляемого Информационно-аналитическим центром координатно-вре-

менного и навигационного обеспечения АО «ЦНИИМаш» (<ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/PRODUCTS>).

Следует отметить, что для корректной работы программы RTKLib файлы навигационных данных должны быть размещены в одной директории с файлом данных наблюдений, а их имена — совпадать. В файле точных эфемерид спутников в формате SP3 количество спутников (в 3-й строке файла) не должно превышать 99. Если эти требования не будут соблюдены, программа не сможет выполнить обработку. По этой причине автором была написана программа на языке Python v3.3.3, которая убирает из файла точных эфемерид все строки и элементы строк, которые не относятся к навигационным системам GPS и ГЛОНАСС (т. е. количество спутников становится примерно равным 54).

При обработке использовались следующие настройки (рис. 3):

- Frequencies (частоты) — L1 + 2;

- Filter Type (тип фильтра) — Combined (комбинированный);

- Elevation Mask (маска угла возвышения) —  $10^\circ$ ;

- Earth Tides Correction (коррекция за земные приливы) — Solid/OTL (коррекция за приливы в твердом теле Земли и за океанические приливы);

- Ionosphere Correction (ионосферная коррекция) — Iono-Free LC (линейные комбинации, свободные от влияния ионосферы);

- Troposphere Correction (тропосферная коррекция) — Estimate ZTD+Grad (оценка параметров полной вертикальной ионосферной задержки и горизонтального градиента);

- Satellite Ephemeris/Clock (спутниковые эфемериды и часы) — Precise (точные);

- Sat PCV (вариации фазового центра антенны спутника);
- Rec PCV (вариации фазового центра антенны приемника);
- PhWindup (коррекция сдвига фаз);
- Reject Ecl (исключение спутников GPS Block IIA, когда они находятся в затмении);
- RAIM FDE (обнаружение и исключение ошибок при автономном контроле целостности приемника);
- GPS и GLONASS (используемые сигналы спутников навигационных систем).

В результате обработки спутниковых измерений в программе RTKLib в режиме PPP Static для каждого из четырех пунктов были получены значения координат из 5-суточных и 12-часовых наблюдений.

В программе Microsoft Office Excel для каждого пункта относительно координат, принятых за истинные, были вычислены абсолютные отклонения координат, полученных из обработки 5-суточных наблюдений, и СКО координат, полученных из обработки 12-часовых интервалов по формуле Гаусса (см. таблицу). Среднее по четырем пунктам абсолютное отклонение координат, полученных из обработки 5-суточных наблюдений, составило 16 мм в плане и 9 мм по высоте. Средняя по четырем пунктам СКО координат, полученных из обработки 12-часовых интервалов, составила в плане 21 мм, а по высоте 18 мм.

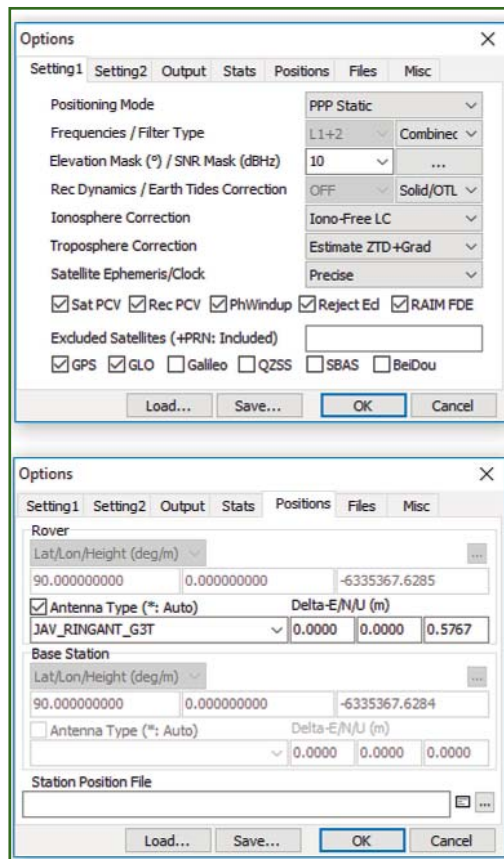
Относительно среднего значения координат, полученных

из обработки 12-часовых интервалов по формуле Бесселя, были вычислены СКО координат для каждого пункта (см. таблицу). Среднее СКО по четырем пунктам составило в плане 14 мм, а по высоте 13 мм.

Программа RTKLib позволяет включать в обработку спутниковых измерений файл данных дифференциальных кодовых задержек (DCB Data File, ftp://ftp.aiub.unibe.ch/CODE) и файл данных параметров ориентации Земли (EOP Data File, http://ftp.aiub.unibe.ch/BSWUSER52/ORB). Следует отметить, что после включения в обработку этих файлов, не произошло существенных изменений и повышения точности получаемого решения.

В работе [1] приведены средние СКО координат, полученных из обработки спутниковых измерений за 2007 г. на 5 пунктах Международной службы ГНСС в программе GrafNav 8.10. Файлы финальных точных эфемерид и поправок часов спутников были скачаны через интерфейс программы GrafNav с ресурса ftp://cddis.nasa.gov. Для 12-часовых интервалов СКО координат составила 9 мм в плане и 20 мм по высоте. Для суточных интервалов СКО координат составила в плане 7 мм, а по высоте 16 мм.

В работе [2] отмечено, что в результате обработки в программе GrafNav спутниковых наблюдений продолжительностью в одни сутки с использованием метода PPP могут быть



**Рис. 3**  
Основные настройки программы RTKLib при обработке спутниковых измерений в режиме PPP Static

получены координаты с СКО менее 5,0 см.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. Ошибка определения координат пунктов геодезического полигона в режиме PPP Static, реализованного в программе RTKLib ver.2.4.2, в несколько раз превышает ошибку определения координат этих пунктов в режиме Static

**Результаты оценки точности координат пунктов, обработанных в программе RTKLib в режиме PPP Static**

Наименование пункта	Абсолютные отклонения 5-суточные наблюдения		СКО по формуле Гаусса 12-часовой интервал		СКО по формуле Бесселя 12-часовой интервал	
	В плане, мм	По высоте, мм	В плане, мм	По высоте, мм	В плане, мм	По высоте, мм
LED0	25	7	25	20	11	14
LED2	3	16	16	18	12	5
LED3	7	4	17	11	13	11
LED4	27	7	25	21	21	20

относительно четырех пунктов Международной службы ГНСС и пункта ФАГС в программе Bernese. Следовательно, оценка точности координат пунктов, полученных в режиме PPP Static, относительно координат, вычисленных в программе Bernese, и принятых за истинные, оправдана.

2. Значения полученных оценок точности координат достаточно хорошо согласуются со значениями, приведенными в работах [1] и [2]. Следовательно, решение в режиме PPP Static, реализованное в программе RTKLib, не уступает по точности решению, реализованному в программе GrafNav 8.10.

3. Длительность сессии наблюдений в 12 часов достаточно для получения абсолютных координат в режиме PPP Static с точностью не менее 3 см

при благоприятных условиях для спутниковых наблюдений.

Автор намерен в дальнейшем выполнить обработку спутниковых измерений в режиме PPP Static, реализованного в программе RTKLib, используя точные эфемериды и поправки часов спутников разной точности (final, rapid, ultra-rapid) и из разных источников, с целью определения оптимального ресурса для практического применения и выявления зависимости точности определения координат от используемых эфемерид и поправок часов навигационных спутников.

*Автор благодарен профессору Геннадию Анатольевичу Шанурову (1949–2017) за привитые им любовь к научной работе, внимательность при обработке измерений и осмысленный подход при изучении*

*результатов экспериментов, бережное и уважительное отношение к геодезическим приборам, что не раз спасало от грубых ошибок и повреждения измерительного оборудования при выполнении геодезических работ. А одну из фраз Геннадия Анатольевича удалось осознать на деле: «Геодезист верит только себе, только с третьего раза и только до обеда!»*

#### ▼ Список литературы

1. Static Precise Point Positioning Accuracy in GrafNav 8.10 / Waypoint Products Group, NovAtel Inc. January 2008.

2. Виноградов А.В., Войтенко А.В., Жигулин А.Ю. Оценка точности метода Precise Point Positioning и возможности его применения при кадастровых работах // Геопрофи. — 2010. — № 2. — С. 27–30.

3. T. Takasu. RTKLIB ver. 2.4.2 Manual. 2013.

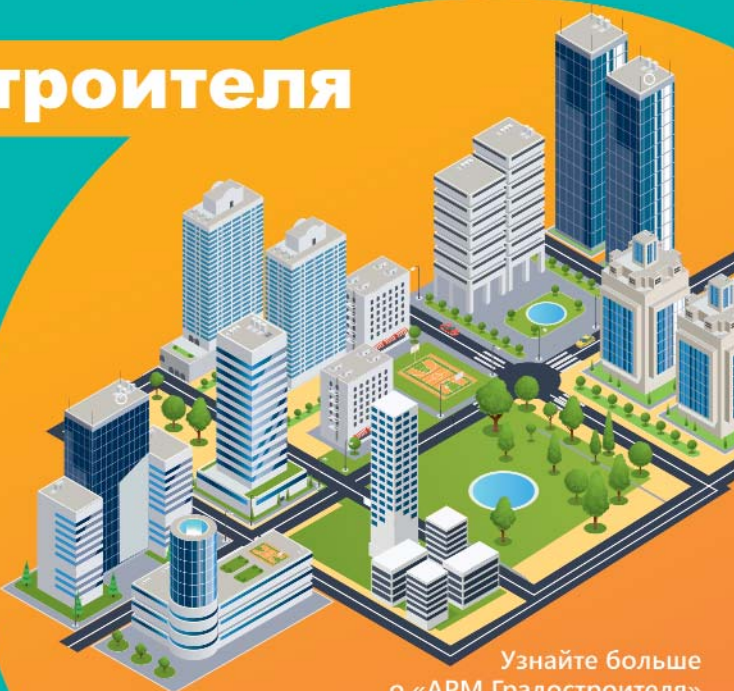


**КБ ПАНОРАМА**  
Геоинформационные технологии

## Комплект программ

# АРМ градостроителя

- Автоматизация работы органов архитектуры и градостроительства
- Упрощение процессов подготовки и выдачи документов ИСОГД
- Помощь в принятии управленческих решений о развитии городской территории



АО КБ «Панорама» Россия, г. Москва  
тел.: +7 (495) 739-0245,  
panorama@gisinfo.ru

Узнайте больше  
о «АРМ Градостроителя»  
здесь: [gisinfo.ru/urban](http://gisinfo.ru/urban)