

# ОБРАБОТКА ИЗМЕРЕНИЙ В РЕЖИМЕ PPP STATIC ПРИ РАЗНЫХ ЭФЕМЕРИДАХ И ПОПРАВКАХ ЧАСОВ СПУТНИКОВ GPS И ГЛОНАСС

**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 Позиционинг Системс», с 2017 г. — в ООО «Мостоотряд-55». С 2019 г. работает в ФГУП «НИИ прикладной акустики», в настоящее время — научный сотрудник.

Внедрение метода точного позиционирования Precise Point Positioning (PPP) в практику спутниковых геодезических измерений требует исследования влияния на точность определения пространственных координат этим методом значений параметров эфемерид и поправок часов спутников GPS и ГЛОНАСС, предоставляемых различными ресурсами.

Целью данного исследования является определение типа эфемерид и поправок часов спутников и ресурса для их скачивания при обработке спутниковых измерений в режиме PPP Static для достижения уровня точности не хуже 3 см в плане и 3 см по высоте при наименьшем времени ожидания скачивания эфемерид.

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

Описание пунктов геодезического полигона, название геодезической аппаратуры, настройки регистрации спутниковых сигналов, метод получения принятых за истинные координат пунктов, настройки режима PPP Static программы обработки RTKLib ver.2.4.2 приведены в работе [1].

Для обработки спутниковых измерений в режиме PPP Static в программе RTKLib ver.2.4.2 использовались следующие типы эфемерид и поправок часов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС: Predicted (предсказанные), Ultra-Rapid (ультрабыстрые), Rapid (быстрые) и Final (финальные), которые были получены из открытых ресурсов Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения (ИАЦ КВНО) АО «ЦНИИмаш» [2] и Международной службы ГНСС (International GNSS Service — IGS) [3].

В табл. 1 приведены источники всех эфемерид и поправок часов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС, использованных при обработке.

Из открытого ресурса [2] могут быть скачаны файлы эфемерид и поправок часов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС ИАЦ КВНО следующих типов:

— Predicted — в режиме реального времени, на сутки вперед и на трое суток вперед;

— Ultra-Rapid — с задержкой на 6 часов — 1 сутки;

— Rapid — с задержкой на 1–2 суток;

— Final — с задержкой на 5–6 суток.

Из открытого ресурса [3] могут быть скачаны файлы эфемерид и поправок часов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС других источников следующих типов:

— Predicted — в режиме реального времени, на 1 сутки вперед;

— Ultra-Rapid — с задержкой на 6 часов — 1 сутки;

— Rapid — с задержкой на 1–2 суток;

— Final — с задержкой на 12–18 суток.

Следует отметить, что открытый ресурс [3] содержит данные из разных источников, среди которых ESA, EMX, GFZ, CODE предоставляют эфемериды GPS и ГЛОНАСС, объединенные в один файл, и только IGS предоставляет эфемериды и поправки часов GPS и ГЛОНАСС для типов Final, Rapid и Ultra-Rapid в отдельных файлах. Программа RTKLib ver.2.4.2 не может выполнить обработку нескольких файлов точных эфе-

Источники эфемерид и поправок часов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС

Таблица 1

Источник	Обозначение	Тип	Файлы эфемерид		Файлы поправок часов	
			GPS	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС
Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения (ИАЦ КВНО)	iac	Final	+	+	+	+
		Rapid	+	+	+	+
		Ultra-Rapid	+	+	+	+
		Predicted	+	+	—	—
Международная служба ГНСС (IGS)	igs	Final	+	—	+	—
		Rapid	+	—	+	—
		Ultra-Rapid	+	—	+	—
		Predicted	+	—	+	—
		Ultra-Rapid	+	+	+	+
		Predicted	+	+	+	+
Европейское космическое агентство (European Space Agency — ESA)	esa	Final	+	+	+	+
Министерство природных ресурсов Канады (Natural Resources Canada — EMX)	emx	Final	+	+	+	+
Потсдамский центр наук о Земле им. Гельмгольца (нем. Helmholtz-Zentrum Potsdam — Deutsches GeoForschungsZentrum — GFZ), Германия	gfz	Final	+	+	+	+
Центр определения орбит в Европе (Center for Orbit Determination in Europe — CODE), Швейцария	cod	Final	+	+	+	—
Массачусетский технологический институт (Massachusetts Institute of Technology — MIT), США	mit	Final	+	—	+	—
Лаборатория реактивного движения (Jet Propulsion Laboratory — JPL), США	jpl	Final	+	—	+	—
Национальная геодезическая служба (National Geodetic Survey — NGS) / Национальное управление океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration — NOAA), США	ngs	Final	+	—	—	—
Океанографический институт Scripps (Scripps Institution of Oceanography — SIO), США	sio	Final	+	—	—	—

**Примечания:**

- файлы эфемерид имеют расширение \*.sp3;
- файлы поправок часов имеют расширение \*.clk;
- «+» — содержат данные;
- «—» — не содержат данные.

мерид и поправок часов спутников, поэтому данные системы ГЛОНАСС, предоставляемые IGS, не были включены в обработку.

В результате обработки спутниковых измерений в режиме PPP Static были получены коор-

динаты четырех пунктов геодезического полигона. В программе Microsoft Office Excel были вычислены средние по четырем пунктам абсолютные отклонения координат, полученных из обработки пятису-

точных наблюдений и 12-часовых интервалов (табл. 2).

Для 5-суточного интервала при использовании эфемерид и поправок часов спутников типа Final и Rapid из источников IAC, ESA, EMX, GFZ, CODE, IGS, MIT и

JPL абсолютные отклонения координат отличаются в среднем на 7 мм, наименьшее отклонение составляет в пространстве 18 мм и соответствует эфемеридам типа Final, предоставляемым ИАЦ КВНО. Использование данных только для сигналов навигационных спутников GPS увеличивает отклонение более чем в 1,5 раза.

Для 5-суточного интервала наименьшее отклонение при использовании эфемерид и поправок часов спутников типа Ultra-Rapid составляет в пространстве 26 мм и соответствует эфемеридам, предоставляемым ИАЦ КВНО. Использование эфемерид типа Ultra-Rapid, предоставляемых IGS, для сигналов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС увеличивает абсолютные отклонения более чем в 4 раза, по сравнению с результатом, полученным при использовании данных из того же источника только для сигналов навигационных спутников GPS.

Для 5-суточного интервала наименьшее отклонение при использовании эфемерид типа Predicted составляет в про-

странстве 83 мм и соответствует эфемеридам навигационных спутников GPS, предоставляемым IGS. Использование данных для сигналов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС увеличивает отклонения более чем в 1,5 раза.

Для 12-часового интервала при использовании эфемерид и поправок часов спутников типа Final и Rapid из источников IAC, ESA, EMX, GFZ, CODE, IGS, MIT и JPL абсолютные отклонения координат отличаются в среднем на 3 мм. Наименьшее отклонение составляет в пространстве 21 мм и соответствуют эфемеридам типа Final, предоставляемым EMX.

Для 12-часового интервала наименьшее отклонение при использовании эфемерид и поправок часов спутников типа Ultra-Rapid составляет в пространстве 26 мм и соответствует эфемеридам, предоставляемым ИАЦ КВНО. Использование эфемерид типа Ultra-Rapid, предоставляемых IGS, для сигналов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС увеличивает отклонения более чем в 9 раз, по

сравнению с результатом, полученным при использовании данных из того же источника только для сигналов навигационных спутников GPS.

Для 12-часового интервала наименьшее отклонение при использовании эфемерид типа Predicted составляет в пространстве 142 мм и соответствует эфемеридам навигационных спутников GPS, предоставляемым IGS. Использование данных для сигналов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС увеличивает отклонения более чем в 2 раза.

В работе [4] для обработки спутниковых измерений, выполненных на пяти пунктах IGS, в режиме PPP Static в программе GrafNav 8.10 были использованы эфемериды и поправки часов спутников типа Final, предоставляемые MIT, скачанные через интерфейс программы GrafNav с ресурса: <ftp://cddis.nasa.gov/>. Для 12-часовых интервалов средняя квадратическая ошибка (СКО) составила в пространстве 22 мм. Для суточных интервалов СКО составила в пространстве 18 мм. В

Средние по четырем пунктам абсолютные отклонения координат

Таблица 2

Тип эфемерид	Обозначение	5-суточные наблюдения			12-часовой интервал		
		В плане, мм	По высоте, мм	В пространстве, мм	В плане, мм	По высоте, мм	В пространстве, мм
Final	iac	16	9	18	18	15	23
	esa	17	9	20	18	12	22
	emx	19	7	20	17	12	21
	gfz	19	8	21	18	12	22
	cod	23	19	30	20	18	27
	igs	26	23	35	21	22	30
	mit	20	20	29	18	19	26
	jpl	27	20	34	22	19	29
	ngs	90	220	238	95	210	230
	sio	4043	2359	4681	4036	3345	5242
Rapid	iac	18	10	21	17	17	24
	igr	28	24	37	21	23	31
Ultra-Rapid	iac	25	6	26	25	9	26
	igu	32	26	41	25	28	38
	igv	122	145	190	275	230	359
Predicted	iac	131	222	258	213	386	441
	igu	47	69	83	93	107	142
	igv	123	50	133	231	226	323

той же работе выполнено сравнение результатов обработки спутниковых измерений за трое суток для одной станции IGS при использовании эфемерид и поправок часов спутников из разных источников различных типов: Final, предоставляемых MIT, Final и Rapid, предоставляемых CODE. Для 12-часовых и суточных интервалов СКО координат отличаются несущественно (в среднем на 2 мм) и составили в пространстве примерно 20 мм.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. При благоприятных условиях спутниковых наблюдений для получения абсолютных координат с точностью не хуже 3 см в плане и 3 см по высоте при обработке 12-часовых интервалов в режиме PPP Static в программе RTKLib достаточно использовать эфемериды и поправки часов навигационных

спутников GPS и ГЛОНАСС типа Rapid, предоставляемые ИАЦ КВНО в открытом ресурсе [2], которые можно скачать с задержкой менее 2 суток.

2. При использовании эфемерид и поправок часов спутников типа Final и Rapid из источников IAC, ESA, EMX, GFZ, CODE, IGS, MIT и JPL для 12-часовых интервалов средние по четырем пунктам абсолютные отклонения координат отличаются несущественно (в среднем на 3 мм) и составляют в среднем 25 мм в пространстве, что достаточно хорошо согласуется с результатами, приведенными в работе [4].

3. В случае использования эфемерид типа Predicted для достижения наилучшей точности следует использовать эфемериды навигационных спутников GPS, предоставляемые IGS в открытом ресурсе [3].

4. Финальные данные из открытого ресурса [3], предоставляемые Национальной гео-

дезической службой США, не содержат поправки часов спутников в формате \*.clk, а предоставляемые Океанографическим институтом Скриппса, не содержат не только поправки часов спутников в формате \*.clk, но и часы спутников в файле \*.sp3, поэтому отклонения для данных источников во много раз превышают отклонения, полученные для других источников.

#### ▼ Список литературы

1. Афанасьев В.Ю. Оценка точности решения в режиме PPP Static в программе RTKLib // Геопрофи. — 2020. — № 2. — С. 44–47.

2. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения АО «ЦНИИмаш». — <ftp://ftp.glonass-iac.ru/MCC/PRODUCTS>.

3. International GNSS Service. — <ftp://igs.ign.fr/pub/igs/products>.

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



**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](mailto:panorama@gisinfo.ru)

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

