

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК РЕАЛИЗАЦИИ РЕЖИМА ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ PPP В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «GRAFNAV/GRAFNET™». ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

*А.А. ЖЕЛАНОВ, Д.А. ШЕЛКОВЕНКОВ, А.А. ЖАЛИЛО, В.М. ШОКАЛО,
С.Н. ФЛЕРКО, В.С. ЧЕРЕВКО*

PPP (Precise Point Positioning) является относительно недавно появившимся и вошедшим в практику методом точного позиционирования. Важнейшей особенностью метода PPP является то, что он не требует наличия базовой станции для квазисинхронных наблюдений и дифференциальных коррекций. Целью данной работы является исследование точностных и эксплуатационных возможностей данного режима обработки в реализации ПК «GrafNav/GrafNet» версии 8.10, сравнение результатов независимого тестирования с заявленными производителем характеристиками.

PPP (Precise Point Positioning) is an exact positioning method which appeared and became customary not long ago. The most important peculiarity of PPP method is it does not require any base station for quasisynchronous observations and differential corrections. The aim of the paper is studying precise and performance potential of the given processing regime in the realization of «GrafNav/GrafNet™» software, version 8.10, comparing the results of the independent testing with the characteristics claimed by the manufacturer.

В настоящее время при выполнении геодезических работ требуется, как правило, сантиметровая точность координатных определений. Такой уровень точности достигается при дифференциальном методе обработки фазовых GPS/GNSS наблюдений. Для реализации дифференциального метода [1] обработки GPS/GNSS наблюдений необходимо, чтобы в пункте с неизвестными координатами и в пункте с известными координатами велись квазисинхронные наблюдения. Затем, при обработке формируются разностные уравнения фазовых наблюдений, благодаря которым компенсируются медленноменяющиеся составляющие эфемеридных, частотно-временных погрешностей, задержки в тропосферных и ионосферных слоях и др. При этом применение одинарных и двойных разностей наблюдений [1] позволяет (при определенных условиях) разрешить фазовые неоднозначности, что, в свою очередь, и позволяет достичь сантиметровую, миллиметровую точность. Существуют ограничения по удалению станций друг от друга, что может привести к невозможности разрешения фазовой неоднозначности и достижению требуемой точности. Отсюда следует, что заданной территории необходимо наличие развитой инфраструктуры сети опорных станций. В настоящее время на территории Украины действующая сеть перманентных станций весьма разрежена и не может осуществлять поддержку геодезических работ в полном объеме. Вследствие этого, потребителю при выполнении работ необходимо иметь дорогостоящий комплект оборудования, состоящий, как минимум, из двух двухчастотных приемников, один из которых используется в качестве базовой станции, требующей достаточной длительной процедуры «привязки». В этих условиях альтернативой является относительно недавно появившийся и вошедший в практику метод точного позиционирования PPP (Precise Point Positioning).

Важнейшей особенностью метода PPP [2, 3] является то, что он не требует наличия базовой станции для квазисинхронных наблюдений и дифференциальных коррекций. Для компенсации основных погрешностей данный метод предполагает использование высокоточных оценок орбит и часов спутников, а также оценок тропосферных и ионосферных параметров, межчастотных задержек в радиотрактах спутников. Данную информацию формируют в международных сервисных центрах обработки GPS/GNSS наблюдений, таких как IGS, EPN, JPL и др., которые используют наблюдения глобальных и региональных сетей станций и предоставляют ее в виде файлов с расширением *.sp3, *.clk – орбиты и часы спутников, а также IONEX – файлы для коррекции ионосферных погрешностей. Но при этом возникает проблема, связанная с задержкой получения данных файлов и точностью, которую они обеспечивают. В табл. 1 (<http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods>) представлена информация о точности оценок орбит, часов спутников и атмосферных параметров, и время, через которое данная информация доступна в Internet.

В январе 2008 года в Украине на рынке продуктов обработки и анализа GPS/GNSS наблюдений появился программный комплекс (ПК) «GrafNav/GrafNet» версии 8.10 (Waypoint Products Group, NovAtel Inc.) [4], который поддерживает ряд традиционных методов обработки GPS/GNSS данных, в том числе, и в режиме PPP. Целью данной работы является исследование точностных и эксплуатационных возможностей данного режима обработки в реализации ПК «GrafNav/GrafNet» версии 8.10, сравнение результатов независимого тестирования с заявленными производителем характеристиками [4] и их дополнение, выработка практических рекомендаций по применению режима PPP в задачах геодезии, кадастра, межевания земли, траекторных измерений и др.

Точность и доступность оценок орбит, часов спутников GNSS и тропосферных и ионосферных параметров, характеризующих задержки навигационных сигналов

Тип предоставляемой информации		Точность	Время ожидания для получения данных
Broadcast	Орбиты	~160 см	В реальном времени
	Часы спутников	~7 нс	
Ultra-Rapid (predicted half)	Орбиты	~10 см	В реальном времени
	Часы спутников	~5 нс	
Ultra-Rapid (observed half)	Орбиты	<5 см	3 часа
	Часы спутников	~0.2 нс	
Rapid	Орбиты	<5 см	17 часов
	Часы спутников и межчастотные задержки	0.1 нс	
Final	Орбиты	<5 см	~13 дней
	Часы спутников и межчастотные задержки	<0.1 нс	
Final tropospheric zenith path delay		4 мм	< 4 недель
Ultra Rapid tropospheric zenith path delay		6 мм	2-3 часа
Final Ionospheric TEC grid		2-8 TECU	~11 дней
Rapid Ionospheric TEC grid		2-9 TECU	< 24 часов

Исследования были проведены специалистами кафедры ОПТ ХНУРЭ с использованием наблюдений базовой GPS-станции ХНУРЭ (SURE), а также с использованием наблюдений, полученных при выполнении аэрофотосъемки на борту летательного аппарата (ЛА), предоставленных ООО «Аэрокосмическое агентство «МАГЕЛЛАН» и ЧП «ГЕОСКАНЕС», г. Киев.

В процессе исследований были проведены следующие экспериментальные работы и их анализ:

1) Оценка координат станции SURE дифференциальным методом относительно IGS-станции КНАР (ННЦ «Институт метрологии», база ~1300 м) за сутки и с разделением суточного набора наблюдений на интервалы по 3 часа, это позволило оценить точность определения координат за более короткие периоды наблюдений;

2) Оценка координат станции SURE в режиме PPP за сутки и с интервалом 3 часа;

3) Оценка координат траектории полета ЛА при аэрофотосъемке дифференциальным методом;

4) Оценка координат траектории полета ЛА в режиме PPP;

5) Сравнительный анализ полученных результатов.

Оценки координат станции SURE относительно станции КНАР были получены по результатам наблюдений 28 марта 2008 года. Погрешности «привязки» координат SURE составили ~2x5 мм (СКО), что позволило принять эти оценки в качестве эталонных координат.

При PPP-режиме обработки статических наблюдений использовались наиболее точные оценки орбит и часов спутников (тип: final), а также оценки значений межчастотных задержек в трактах спутников (DCB – Differential Code Bias). Файлы оценок атмосферных параметров IONEX

не использовались, так как в обработку принимались двухчастотные GPS/GNSS наблюдения.

Дополнительно был проведен анализ наблюдений с применением ПК «Octava_PPA» [5], который позволяет провести высококачественную предварительную обработку наблюдений, включая контроль их. Это дало возможность провести анализ изменения точности при обработке а) «сырой» информации и б) после предварительной обработки этих же наблюдений с использованием ПК «Octava_PPA».

В табл. 2 представлены отклонения координат между PPP-решением и дифференциальным решением для станции SURE за сутки и с интервалом 3 часа. Для удобства анализа и графического отображения все результаты представлены в местной системе координат станции SURE (начало СК – эталонные координаты станции).

Ниже на рис.1 представлены отклонения по плановым координатам между PPP-решением и дифференциальным за сутки и с интервалом 3 часа. На рис. 2 представлены отклонения по высоте для станции SURE с интервалом 3 часа в зависимости от режима обработки. На рис. 3, 4 представлены отклонения PPP-решений по плановым координатам и высоте при использовании «сырых» наблюдений и наблюдений, предварительно обработанных ПК «Octava_PPA».

При тестировании возможностей реализации режима PPP в ПК «GrafNav/GrafNet» при обработке кинематических наблюдений используемые бортовые GPS данные ЛА были обработаны с применением ПК «GrafNav/GrafNet» в дифференциальном и PPP-режиме, а также с применением ПК «Octava_PPA».

Погрешности оценки параметров траектории полета ЛА (рис. 5), рассчитанной дифференциальным методом с применением ПК «GrafNav/

Таблица 2

Значения отклонений оценок плановых координат и высоты для станции SURE

Набор наблюдений длительностью 24 ч				
Режим позиционирования	ΔN , мм	ΔE , мм	ΔH , мм	
Дифференциальный*	0	0	0	
Precise Point Position	3,10	15,4	49,9	
Набор наблюдений длительностью 24 ч, с разделением по 3 ч				
1	Дифференциальный	-0,31	-2,2	5,8
	Precise Point Position	-6,51	5,8	83,9
2	Дифференциальный	0,31	0	4,9
	Precise Point Position	-26,97	47	46,9
3	Дифференциальный	-0,31	1,2	0,5
	Precise Point Position	-0,31	-26	17,9
4	Дифференциальный	-0,31	1,4	-3,1
	Precise Point Position	5,89	-18,2	59,9
5	Дифференциальный	-1,24	0,2	0,5
	Precise Point Position	6,51	10,8	42,9
6	Дифференциальный	-0,31	0,2	-0,1
	Precise Point Position	8,99	15,4	34,9
7	Дифференциальный	2,79	0,2	2,2
	Precise Point Position	8,68	-23,4	36,9
8	Дифференциальный	0,62	-0,6	-7,2
	Precise Point Position	2,79	52,6	130,9

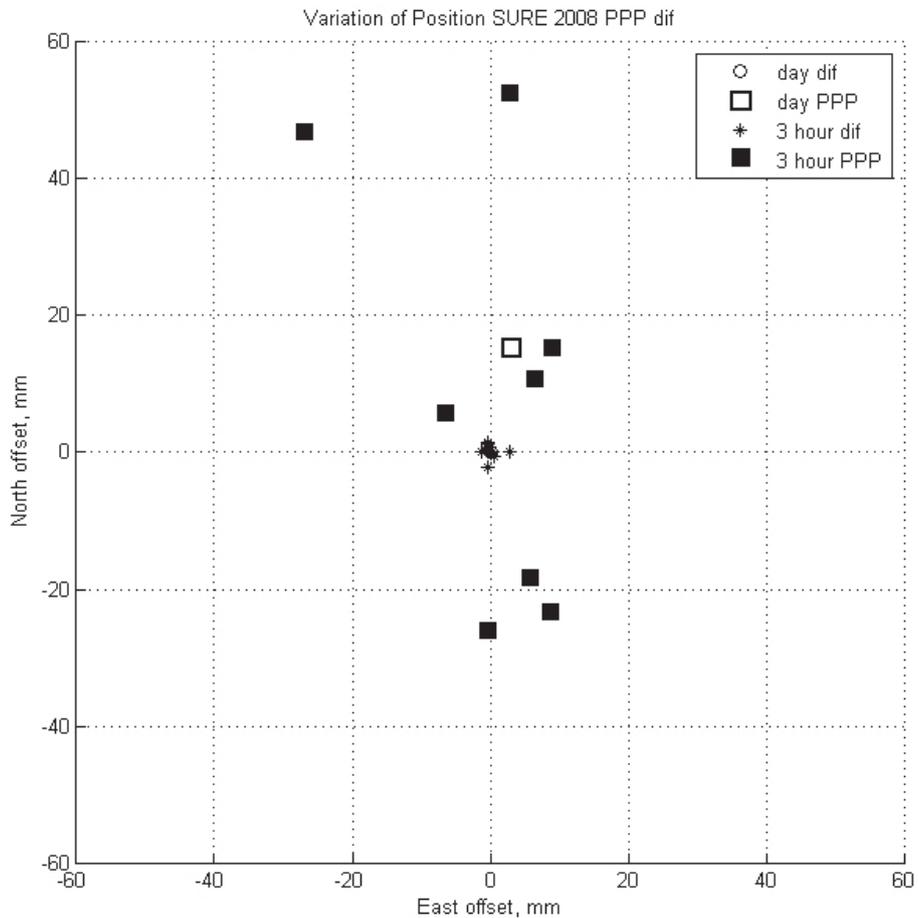


Рис. 1. Отклонения решений по плановым координатам в зависимости от режима позиционирования за сутки и для трехчасовых сессий

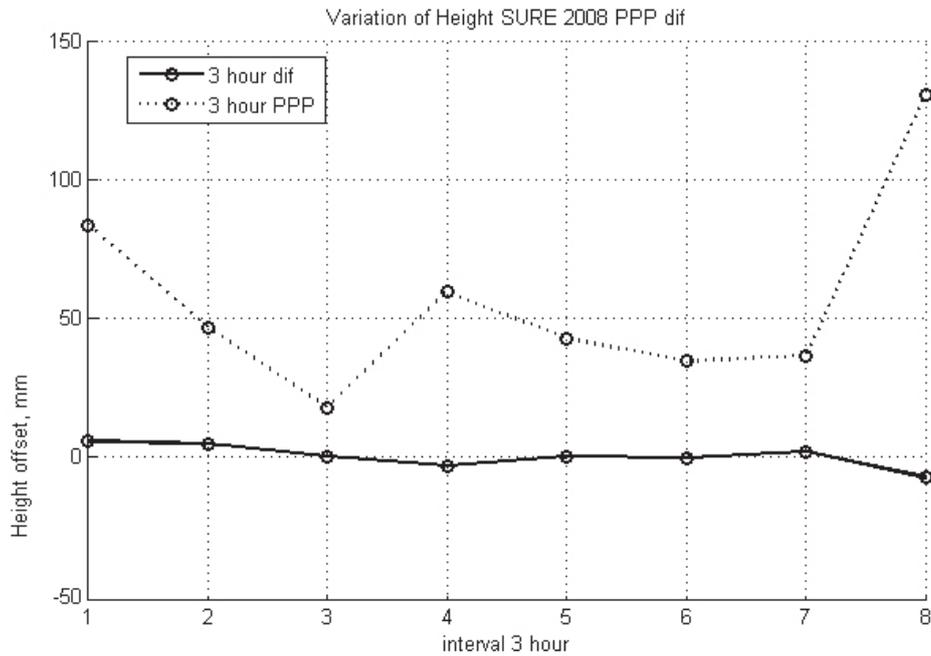


Рис. 2. Отклонения PPP-решения по высоте от эталонного для трехчасовых сессий

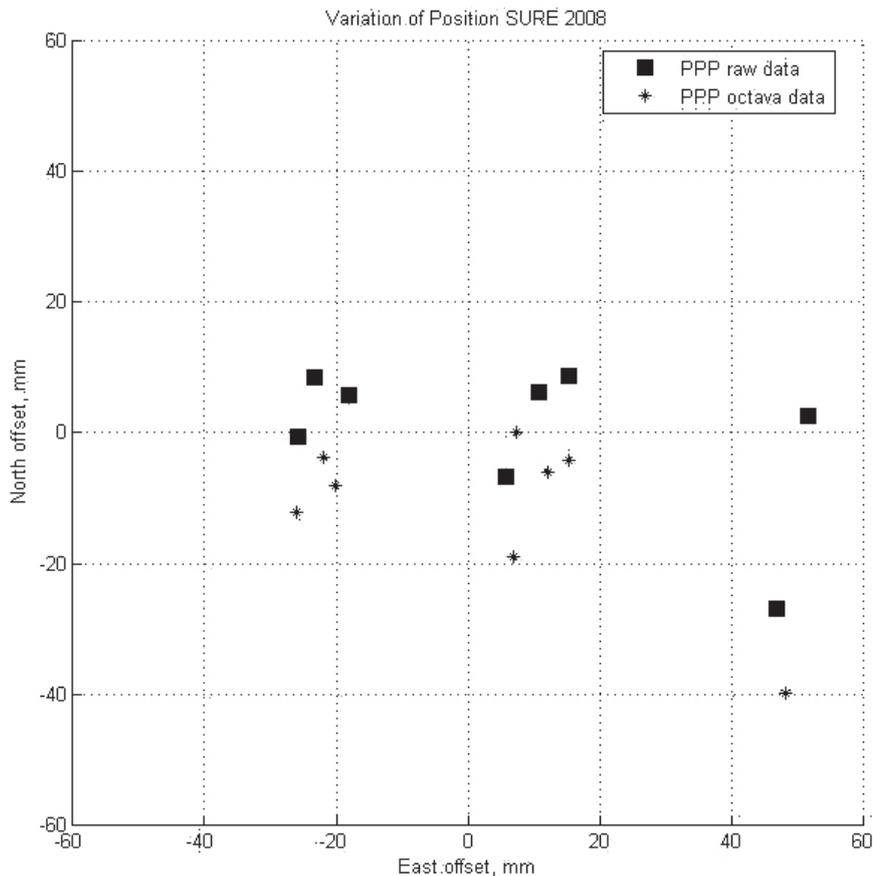


Рис. 3. Отклонения PPP-решений по плановым координатам при обработке «сырых» наблюдений и после предварительной обработки с использованием ПК «Octava_PPA» для трехчасовых сессий

GrafNet», не превысили 5×10 см, что позволило принять такую оценку траектории ЛА в качестве эталонной.

В результате были получены невязки PPP и эталонных решений. На рис. 6-8 представлены отклонения по широте, долготе и высоте соответственно в метрах. На каждом из рисунков в верх-

нем левом углу приведены невязки PPP-решения для «сырых» наблюдений относительно эталонных, в правом – для наблюдений, обработанных ПК «Octava_PPA», а снизу представлены невязки между PPP-решениями для «сырых» наблюдений и наблюдений после обработки с применением ПК «Octava_PPA».

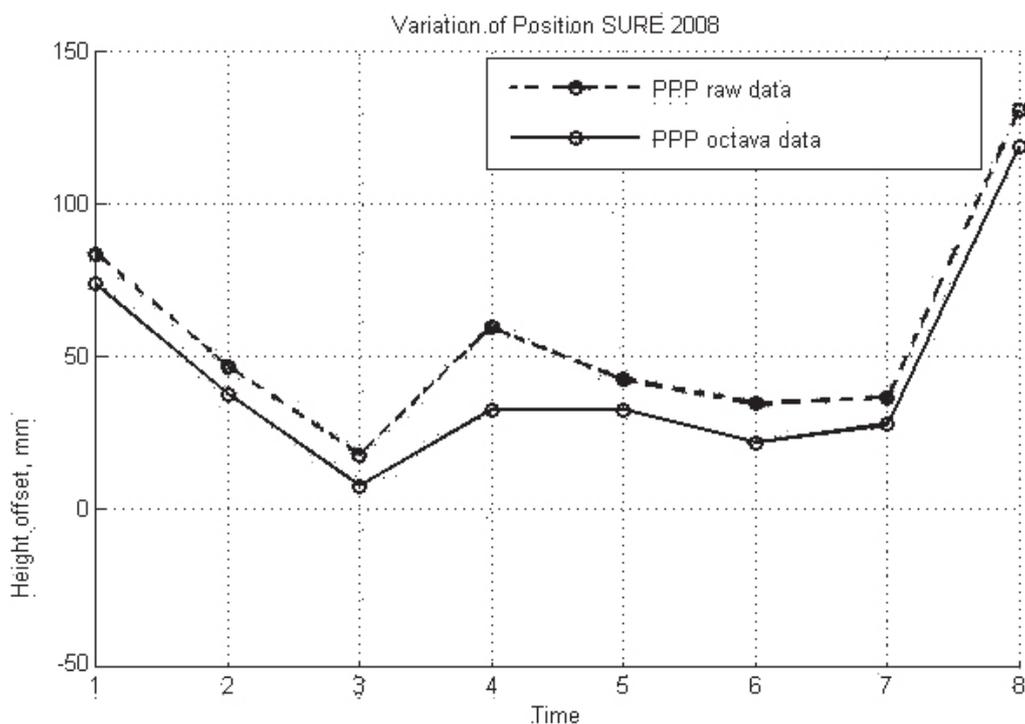


Рис. 4. Отклонения PPP-решений по высоте при обработке «сырых» наблюдений и после предварительной обработки с использованием ПК «Octava_PPA» для трехчасовых сессий

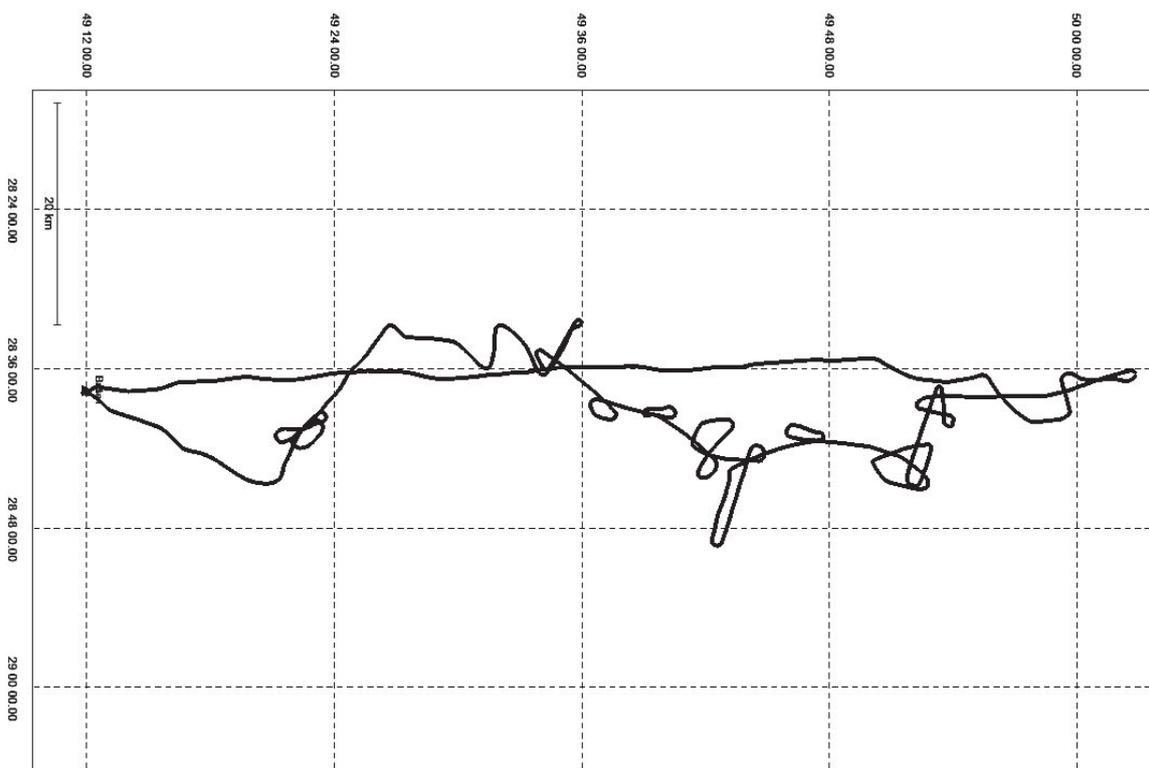


Рис. 5. След траектории полета ЛА

Сравнительный анализ полученных результатов оценки точностных характеристик режима PPP, реализованного в ПК «GrafNav/GrafNet», позволил сделать следующие выводы:

1) Режим точного позиционирования PPP имеет перспективы широкого практического использования в Украине, является в ряде практи-

ческих случаев альтернативой и дополнением к дифференциальным методам точного позиционирования, не требует установки и использования базовых станций. Однако при этом для обработки измерительной информации требуется использование точных продуктов международных специализированных сервисных центров IGS или

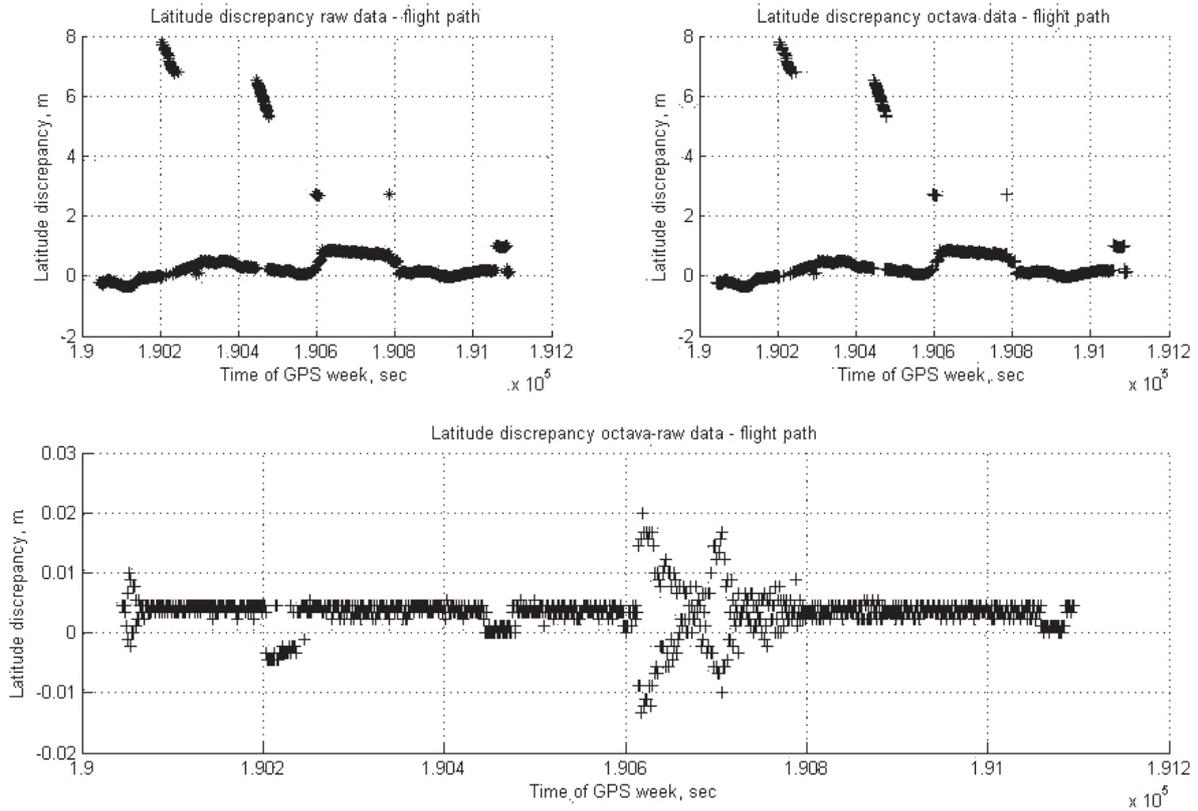


Рис. 6. Невязки PPP и эталонного решений по широте

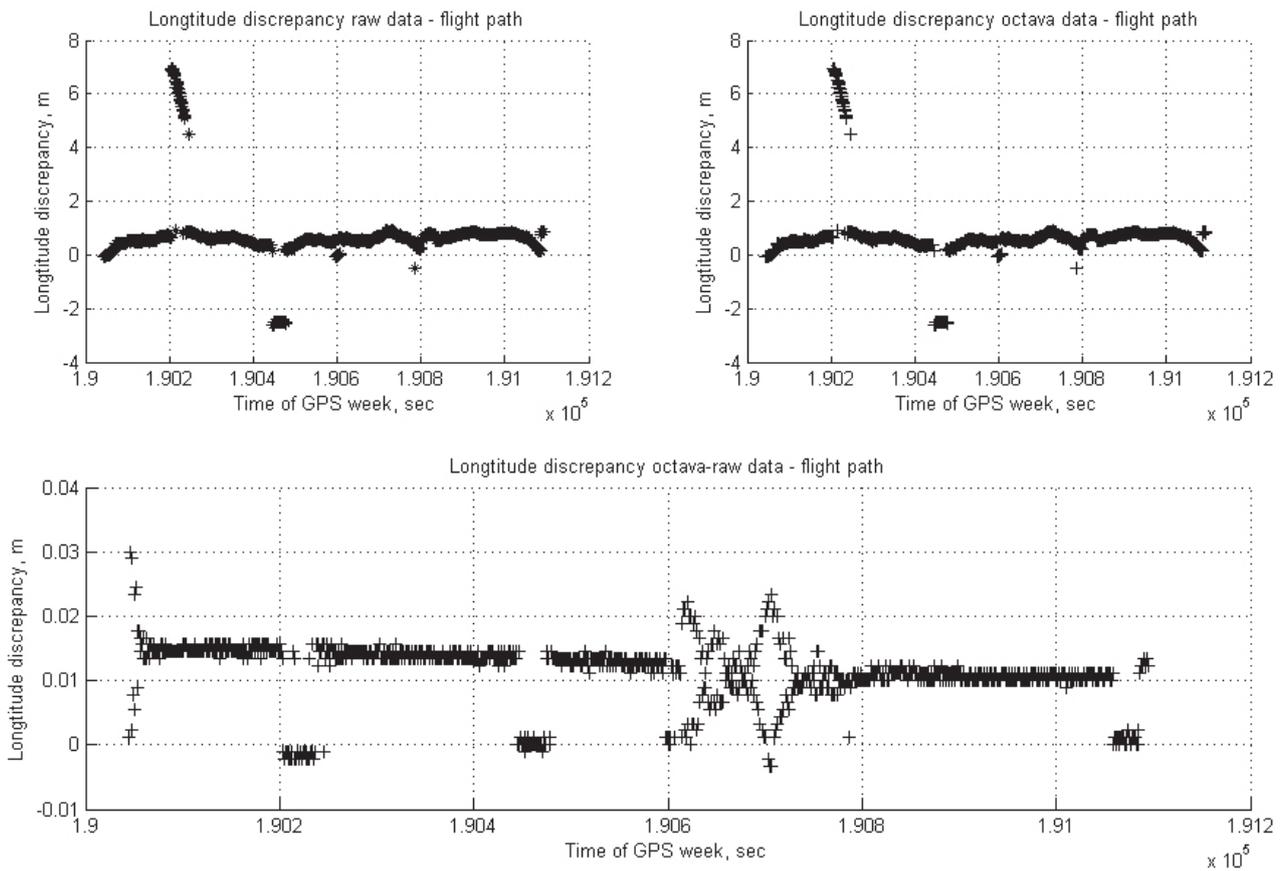


Рис. 7. Невязки PPP и эталонного решений по долготе

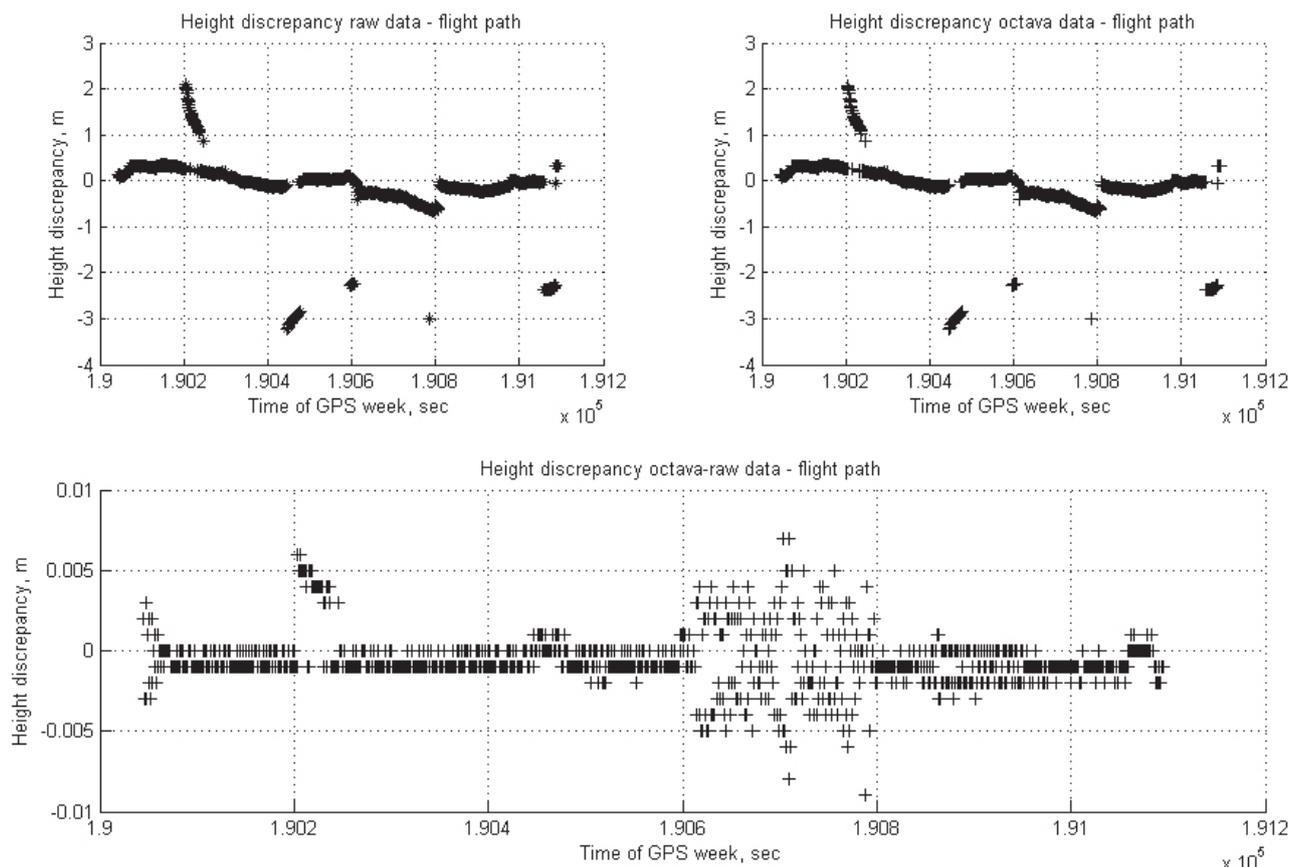


Рис. 8. Невязки PPP и эталонного решений по высоте

других международных служб: точные орбиты и часы спутников, оценки тропосферных и ионосферных параметров, межчастотные задержки в радиотрактах навигационных спутников и др.

2) Режим PPP, реализованный в ПК «GrafNav/GrafNet», позволяет получить субдециметровый/сантиметровый уровень точности для статических наблюдений и субметровый уровень точности для кинематических наблюдений.

Для статических наблюдений оценки погрешностей определений плановых координат соответствуют оценкам, заявленным в [4], однако погрешности определения вертикальной составляющей превышают заявленные характеристики и достигают величины 5 см при суточных наблюдениях и 10–12 см при трехчасовых сеансах.

Отдельные выбросы оценок на метровом уровне при кинематической съемке связаны с изменением геометрического фактора и эволюциями ЛА во время движения (полета). Использование дополнительной информации о динамике движения ЛА, по-видимому, позволит исключить аномальные выбросы оценок и улучшить представленные результаты, однако это требует дополнительных исследований.

3) Серьезный недостаток режима PPP – зависимость от точности и доступности точных продуктов IGS, что, в свою очередь, приводит к задержке обработки до 2 недель. Кроме того, как

показало тестирование, для достижения сантиметровой точности длительность сеанса наблюдений для обработки в PPP-режиме увеличивается в 2 и более раз по сравнению с длительностью сеанса наблюдений в дифференциальном режиме;

4) Использование ПК «Octava_PPA» позволило выполнить полный препроцессинг наблюдений, полученных в статическом и кинематическом режимах съемки, и обеспечить их качество. Это позволило улучшить точность результатов обработки в статическом режиме на $5 \times 10\%$. При обработке кинематических наблюдений погрешности определения параметров движения ЛА возрастают до метрового уровня и в этом случае использование ПК «Octava_PPA» не дало улучшения точности, по крайней мере, для анализируемой сессии измерений.

Преставленные здесь результаты являются предварительными. Планируется проведение более детальных и расширенных исследований точностных и эксплуатационных характеристик PPP режима, в частности, зависимости от применяемых типов точных эфемерид и часов (ultra rapid, rapid, final(precise)), коррекций тропосферных и ионосферных параметров для одно-, двухчастотной статической и кинематической информации и с изменением интервала времени наблюдений (1, 3, 6, 12, 24 часа).

Литература.

1. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика / Б. Гофманн-Велленгоф, Г. Ліхтнеггер, Д. Коллінз; Пер. з англ. третього вид. Під ред. Я.С. Яцківа. – Київ: Наукова думка, 1995. – 380 с.
2. Analyzing the Performance Characteristics of a Precise Point Positioning System / Mohamed Abdel-Salam, Yang Gao, and Xiaobing Shen. – Portland. ION GPS 2007. – pp. 1893-1899.
3. Precise Positioning with Undifferenced Data / Y. Gao and K. Chen. – The European Navigation Conference, 2004. – pp. 1-9.
4. Static Precise Point Positioning Accuracy in GrafNav 8.10 / Waypoint Products Group, NovAtel Inc. January 2008. www.novatel.com/Documents/, http://eps.com.ua/
5. Features and service performance of multifunctional software toolkit "OCTAVA" for processing and analysis of GPS/GNSS observations / Zhalilo A., Shelkovenkov D. – GEOS 2007 Conference Proceedings, Prague, Czech Republic, 1st – 2nd March 2007, pp. 102-110.



Поступила в редколлегию 10.04.2009

Желанов Алексей Александрович, аспирант кафедры основ радиотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: высокоточная ГНСС-навигация и геодезия, ГНСС-технологии определения параметров движения воздушных судов.



Шелковенков Дмитрий Александрович, аспирант кафедры основ радиотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: высокоточная сетевая ГНСС-навигация и геодезия, предварительная обработка ГНСС-наблюдений.



Жалило Алексей Александрович, докторант кафедры основ радиотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: спутниковые технологии точного позиционирования, обработка ГНСС-наблюдений.



Шокало Владимир Михайлович, заведующий кафедры основ радиотехники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Область научных интересов: электродинамика распространения радиоволн, радиотехнические системы передачи информации.



Флерко Сергей Николаевич, к.т.н., технический эксперт ООО «Европромсервис». Область научных интересов: системы высокоточной спутниковой навигации и геодезии, исследование ионосферы с использованием сигналов ГНСС.



Черевко Владимир Станиславович, технический директор ООО «Европромсервис». Область научных интересов: системы высокоточной спутниковой навигации и геодезии, микропроцессорная техника.