

ВЫСОКОТОЧНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПО СИГНАЛАМ ГНСС

В. В. Дворкин, С. Н. Карутин

ОАО «Российские космические системы»

Россия, 111250, Москва, ул. Авиамоторная, 53. E-mail: sergey.karutin@rniikp.ru

Проведен сравнительный анализ соответствия текущего состояния комплекса функционального дополнения ГЛОНАСС перспективным требованиям потребителей в части точности навигационного обеспечения.

Предложен алгоритм высокоточного определения местоположения потребителей, обеспечивающий удовлетворение перспективных требований потребителей. Приведены результаты экспериментального исследования алгоритмов работы данного комплекса при использовании существующих технических средств системы дифференциальной коррекции и мониторинга.

На основе проведенных исследований сделаны выводы о перспективах развития систем высокоточного определения местоположения по радиосигналам спутниковых навигационных систем.

Ключевые слова: Высокая точность, ГНСС, СДКМ, функциональные дополнения.

PRECISE POSITIONING ACCORDING TO GNSS SIGNAL

V. V. Dvorkin, S. N. Karutin

JSC «Russian Space Systems»

53 Aviamotornaya str., Moscow, 111250, Russia. E-mail: sergey.karutin@rniikp.ru

The authors present a comparative analysis of the compliance of global navigation satellite systems (GNSS) augmentations current status with the future user requirements in positioning accuracy. The algorithm of precise positioning is proposed. Experimental studies of the complex algorithms based on the use of the existing system for differential correction and monitoring facilities are presented. On the basis of the research results the forecast of GNSS precise positioning systems development is made.

Keywords: high accuracy, GLONASS, SDCM, augmentations.

По мере совершенствования глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) появляются новые сферы практического применения навигационной аппаратуры потребителя (НАП) этих систем, которые, в свою очередь, требуют дальнейшего повышения точности навигационно-временного обеспечения. Сегодня НАП используют при организации дорожного движения (в том числе по платным дорогам), разборах дорожно-транспортных происшествий и определении страховых случаев, организации автоматического управления дорожной, строительной и сельскохозяйственной техникой, контроле деформации сооружений и высокоточном мониторинге движения точек земной поверхности для снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, при функционировании энергетических систем, систем транспортировки нефти и газа, в фундаментальных научных исследованиях и в ряде других приложений.

В настоящее время разработаны и широко применяются на практике методы навигации, в которых потребитель имеет возможность либо осуществлять высокоточные относительные навигационные определения (погрешность порядка единиц сантиметров) на расстояниях в несколько десятков километров от

опорных станций, либо проводить абсолютные навигационные определения с погрешностью на уровне единиц метров. Необходимо отметить, что в последние годы произошло несколько событий, которые создали основу для дальнейшего повышения точности определения местоположения по сигналам ГНСС. Во-первых, системы ГЛОНАСС и GPS прошли этап очередной модернизации – на орбите появились навигационные космические аппараты (НКА) нового поколения, излучающие навигационные радиосигналы в диапазонах L_1 и L_2 , что позволяет практически полностью устранять ионосферную задержку сигнала двухчастотным методом [1]. Во-вторых, международная служба ГНСС (англ. International GNSS Service, IGS) в результате масштабных исследований разработала алгоритмы оценки эфемерид и частотно-временных параметров бортовых шкал времени НКА, которые дают возможность оценивать данные параметры с погрешностью в единицы сантиметров [2]. Эти обстоятельства позволили создать алгоритмы высокоточных абсолютных навигационных определений (англ. Precise Point Positioning, PPP) [3–5], которые характеризуются точностью определения координат, сопоставимой с относительными методами RTK (см. таблицу, рис. 1).

Программой развития системы ГЛОНАСС на 2012–2020 гг. предусматривается повышение точности навигационного обеспечения потребителей при использовании функциональных дополнений с текущего уровня в 1 м (СКО) до 0,1 м (СКО) в 2020 г. Проведенный выше анализ, основанный на результатах теоретических и экспериментальных исследова-

ний, позволяет считать возможным решение данной задачи за счет создания национального широкозонного высокоточного комплекса функционального дополнения, способного предоставить потребителям на территории Российской Федерации возможность осуществлять навигационные определения не только по сигналам системы ГЛОНАСС, но и зарубежных ГНСС.

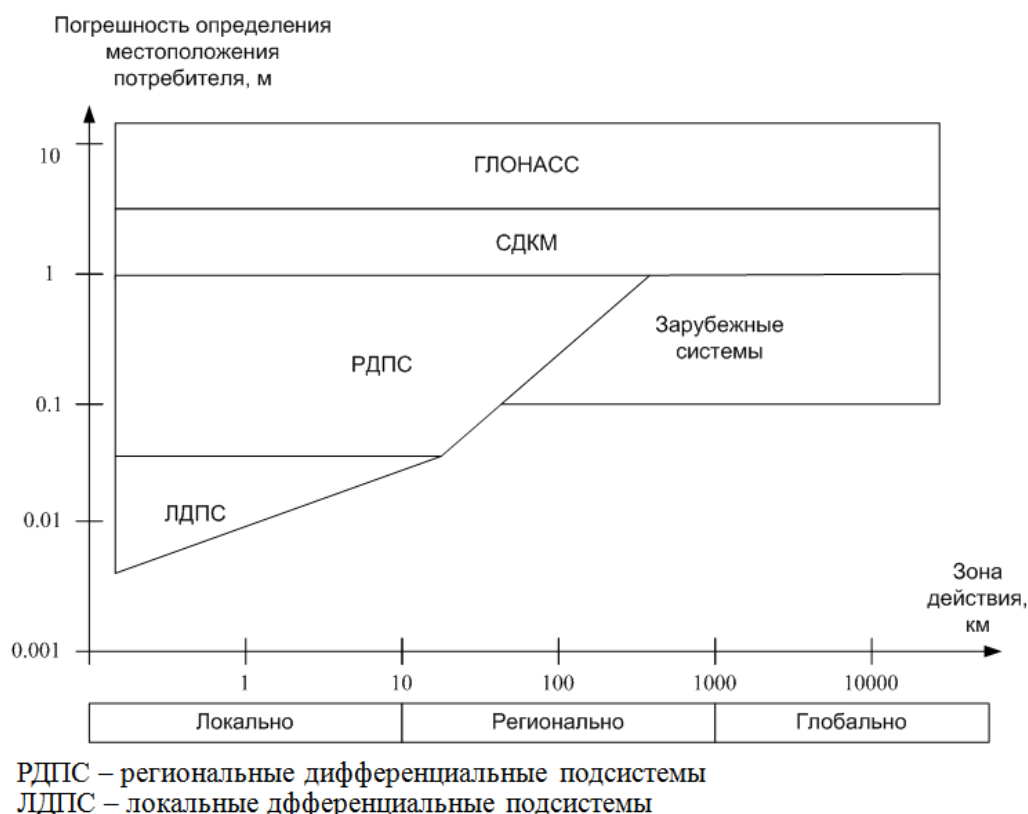


Рис. 1. Классификация функциональных дополнений

Составляющие погрешности навигационных определений

Составляющая погрешности	Режим работы навигационной аппаратуры потребителя					
	абсолютный одно-частотный	абсолютный двух-частотный	локальный дифференциальный	широкозонный дифференциальный	высокоточный от-носительный (RTK)	высокоточный аб-солютный (PPP)
Эфемериды	1	1	0,02	0,3	0,02	0,15
Частотно-временные параметры	1	1	0,02	0,3	0,02	0,15
Ионосферная рефракция	2	–	0,02	0,05	–	–
Тропосферная рефракция	0,5	0,5	0,03	0,12	0,03	–
Аппаратурная погрешность	0,5	0,7	0,5	0,5	0,003	0,003
Геометрический фактор	2	2	2	2		
Общая погрешность	5,1	3,3	1	1,3	0,05	0,05–0,21*

* Погрешность может быть уменьшена за счет обработки длительных интервалов наблюдений.

Метод высокоточного навигационного обеспечения. В общем случае для высокоточного определения координат потребителя необходимо использовать измерения, полученные в результате оценки задержки времени распространения навигационного радиосигнала по фазе несущих и огибающих колебаний, которые являются измерениям текущих навигационных параметров (ИТНП) – псевдодальности по коду S и псевдофазе Φ :

$$S_{ki}^j = R_i^j + \delta R^j + c \cdot (\delta t_i - \delta T^j) + \delta_{ki}^j + \beta_i^j + e_{ki}^{Sj}, \quad (1)$$

$$\lambda_k \cdot \Phi_{ki}^j = R_i^j + \delta R^j + c \cdot (\delta t_i - \delta T^j) - \delta_{ki}^j + \beta_i^j + \lambda_k \cdot N_{ki}^j + e_{ki}^{\Phi j}, \quad (2)$$

где R_i^j – геометрическая дальность между j -м НКА и i -м потребителем; δR^j – погрешность оценки дальности за счет ошибок эфемеридно-временной информации, влияния релятивистских, гравитационных и приливных эффектов, смещения и вариации фазового центра антенн j -го спутника и i -го потребителя, ошибки многолучевости, аппаратурных задержек j -го спутника и i -го потребителя; c – скорость света; δt_i – расхождение между шкалами времени потребителя и используемой навигационной системы; δT^j – расхождение между шкалами времени НКА и его навигационной системы; δ_{ki}^j – задержка распространения в ионосфере радиосигнала j -го НКА до i -го потребителя в диапазоне L_k , где $k = 1$ для диапазона L1, $k = 2$ для диапазона L2; β_i^j – задержка распространения радиосигнала НКА в тропосфере; N_{ki}^j – целочисленная неоднозначность псевдофазовых измерений; λ_k – длина волны несущих колебаний сигнала НКА; $e_{ki}^{Sj}, e_{ki}^{\Phi j}$ – шумовые погрешности измерений псевдодальности и псевдофазы соответственно. Модель измерения псевдофазы (2) содержит также неуказанные в (2) систематическое смещение измерения по j -му спутнику, связанное с взаимной ориентацией антенн спутника и потребителя, начальную фазу излучения несущего колебания j -м спутником, начальную фазу опорного колебания на несущей частоте в приемнике потребителя.

Для исключения ионосферной задержки распространения сигнала на практике используется следующая линейная комбинация измерений:

$$S_i^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot S_{1i}^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot S_{2i}^j = \quad (3)$$

$$= R_i^j + \delta R^j + c \cdot (\delta t_i - \delta T^j) + M_i^j \cdot \tau_i + e_{i}^{Sj},$$

$$\lambda_{IF} \Phi_i^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \lambda_1 \cdot \Phi_{1i}^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \lambda_2 \cdot \Phi_{2i}^j = \quad (4)$$

$$= R_i^j + \delta R^j + c \cdot (\delta t_i - \delta T^j) + M_i^j \cdot \tau_i + \lambda_{IF} \cdot N_i^j + e_{i}^{\Phi j},$$

где $\lambda_{IF} = \frac{60\lambda_2}{77^2 - 60^2} = \frac{77\lambda_1}{77^2 - 60^2} \approx 0,0063$ м – эквивалентная длина волны безионосферной псевдофазовой

комбинации для радиосигналов НКА GPS;

$$\lambda_{IF} = \frac{7\lambda_2}{9^2 - 7^2} = \frac{9\lambda_1}{9^2 - 7^2} \approx 0,053 \text{ м} – \text{эквивалентная}$$

длина волны безионосферной псевдофазовой комбинации для радиосигналов НКА ГЛОНАСС; $M_i^j \cdot \tau_i$ – тропосферная задержка сигнала в виде произведения значения вертикальной тропосферной задержки сигнала i -й станции τ_i и отображающей функции M_i^j

в направлении j -го спутника; $N_i^j = 77 \cdot N_{1i}^j - 60 \cdot N_{2i}^j$ – целочисленная неоднозначность безионосферной псевдофазовой комбинации для измерений по радиосигналам НКА GPS; $N_i^j = 9 \cdot N_{1i}^j - 7 \cdot N_{2i}^j$ – целочисленная неоднозначность комбинации для измерений по радиосигналам НКА ГЛОНАСС. Необходимо отметить, что тропосферная задержка сигнала в измерениях (3) и (4) исключается путем использования соответствующей тропосферной модели. Как правило, в таких моделях вертикальная тропосферная задержка сигнала i -й станции τ_i разбивается на сухую и влажную составляющие. Значение сухой составляющей определяется с помощью модели, а некомпенсированная моделью остаточная составляющая влажной тропосферной задержки $\Delta\tau_w$ рассматривается как дополнительный оцениваемый параметр.

Наличие в псевдофазовом измерении (2), (4) ряда немоделируемых смещений (аппаратурные задержки на спутнике и в приемнике потребителя, начальная фаза излучения несущего колебания j -м спутником, начальная фаза опорного колебания на несущей частоте в приемнике потребителя) приводит к тому, что целочисленная неоднозначность псевдофазовых измерений безионосферной комбинации (4) не может быть описана целым числом и оценивается как действительная величина. В результате на практике используется следующая модель безионосферной псевдофазовой комбинации:

$$\lambda_{IF} \Phi_i^j = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \lambda_1 \cdot \Phi_{1i}^j - \frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \cdot \lambda_2 \cdot \Phi_{2i}^j = \quad (5)$$

$$= R_i^j + \delta R^j + c \cdot (\delta t_i - \delta T^j) + M_i^j \cdot \tau_i + A_i^j + e_{i}^{\Phi j},$$

где A_i^j – действительная оценка неоднозначности безионосферной комбинации псевдофазовых измерений, вобравшая в себя ряд немоделируемых смещений модели псевдофазы (2) и (4). В частности, модель (5) используется международной службой IGS при выполнении процедур высокоточной оценки ЭВИ НКА ГНСС.

Система уравнений (3) и (5) может в общем случае может быть записана в виде векторного уравнения относительно вектора искомых параметров $\Delta(x, y, z, \delta t_i, \Delta\tau_w, A_i^j)$ [6]:

$$C \cdot \Delta + Y - E = 0 \quad (6)$$

где C – матрица коэффициентов при искомым параметрах Δ ; Y – вектор невязок измеренных и расчетных значений навигационных параметров, который

характеризуется ковариационной матрицей W ; E – вектор некомпенсированных погрешностей измерения навигационных параметров.

Для оценки параметров местоположения потребителя можно использовать фильтр, основанный на оценке методом максимума апостериорной вероятности, т. е. фильтр Калмана, имеющий следующий вид:

$$\Delta_m = \Delta_{m-1} + K_m \cdot C_m^T \cdot W_m^{-1} \cdot Y_m, \quad (7)$$

$$K_m = (K_{m-1} + C_m^T \cdot W_m^{-1} \cdot C_m)^{-1},$$

где m – момент времени, на который производится уточнение координат; K_m – корреляционная матрица вектора искомых параметров в момент времени m .

Использование модели измерения псевдофазы (5) (т. е. факт отсутствия учета целочисленной природы неоднозначностей измерения псевдофазы) не накладывает ограничений на точность оцениваемых координат потребителя, но оказывает влияние на длительность периода сходимости решения, т. е. интервал обработки измерений, требуемый для получения заданной точности местоопределения.

В связи с этим, приоритетным направлением развития технологий абсолютной высокоточной спутниковой навигации является разработка процедур целочисленного разрешения неоднозначности псевдофазовых измерений, которые получили название Integer PPP [7–8]. В работах [9–10] показано, что время сходимости существенно сокращается по сравнению со случаем оценки действительных неоднозначностей. Основное отличие данных алгоритмов заключается в подходах к разделению искомого параметра A_i^j на составные части с целью выделения целочисленной неоднозначности в отдельную переменную. В процессе фильтрационного оценивания для системы обрабатываемых уравнений вида (7) используются поисковые процедуры, основанные на минимизации квадратичной формы в целых числах с применением целочисленного унимодулярного преобразования [11].

Результаты экспериментальной оценки алгоритма высокоточного определения местоположения. С целью экспериментальной проверки возможности практической реализации предложенного алгоритма высокоточного определения местоположения в период 2010–2012 годов была проведена серия экспериментов, в ходе которых оценивались погрешности прогнозирования ЭВИ и определения координат стационарных и подвижных потребителей с помощью (7). Помимо составных частей СДКМ при проведении экспериментов использовались технические средства геодезического отдела Центрального научного исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии имени Ф. Н. Красовского.

Первая часть экспериментального исследования заключалась в получении экспериментальной оценки точности прогнозирования ЭВИ при различной длительности интервала накопления ИТНП. На рис. 2, а представлены зависимости погрешности оценки прогнозных значений эфемерид НКА ГЛОНАСС от апостериорных оценок, полученных международной

службой ГНСС, при различной длительности интервала накопления ИТНП. Полученные результаты показывают, что эфемериды НКА могут прогнозироваться на длительные временные интервалы без существенной потери точности, которая определяется длительностью интервала накопления ИТНП. В отличие от эфемерид, результаты оценки величины расхождения прогнозных значений бортовой шкалы времени НКА относительно апостериорных значений в зависимости от времени прогнозирования при использовании 4-х суточного интервала ИТНП показывают необходимость оперативного уточнения частотно-временных параметров для обеспечения высоких точностных характеристик (рис. 2, б). Указанное обстоятельство потребовало выделения системы оперативной оценки и прогнозирования частотно-временных параметров (ЧВП) в отдельный модуль в составе центра управления. Совместный анализ полученных результатов показывает, что за время порядка 8 минут, которые необходимы для прогнозирования ЭВИ на следующий временной интервал, существенного ухудшения точности оценки ЭВИ не происходит.

Вторая часть исследования заключалась в проведении серии экспериментов по определению координат статического потребителя в соответствии с (7). В качестве потребителя была выбрана станция СДКМ, расположенная на территории Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений.

На рис. 3 приведены результаты высокоточной оценки координат станции при использовании интервалов наблюдения различной длительности, которые также подтверждают возможность получения оценок координат потребителя с погрешностью на уровне нескольких сантиметров. При расчетах использовалась ЭВИ НКА ГЛОНАСС и GPS, полученная по результатам апостериорной обработки первичных измерений глобальной сети СДКМ и федеральной астрономо-геодезической сети. В обработку были включены измерения псевдодальности и псевдофазы по радиосигналам НКА ГЛОНАСС и GPS в диапазонах L_1 и L_2 . Для эксперимента использовали измерения, полученные в сентябре 2010 г.

Заключительная серия экспериментов по оценке точности определения координат подвижных потребителей проводилась на территории аэродрома «Раменское». Поскольку в настоящее время для высокоточного относительного определения координат широко используется технология RTK, то для оценки погрешности определения координат подвижного потребителя в качестве опорной траектории использовались оценки координат, полученные в режиме RTK относительно стационарной базовой станции на территории аэродрома. Результаты сравнения оценок координат подвижного потребителя (рис. 4) показывают, что отклонение оценок координат в режиме абсолютного высокоточного местоопределения от опорной траектории не превышает 0,06 м в плане и 0,15 м по высоте.

Достижение высоких точностей определения координат потребителей в абсолютном режиме возможно благодаря использованию высокоточной ЭВИ в двух-частотной навигационной аппаратуре потребителя с учетом влияния ряда дополнительных факторов. Повышение точности апостериорной оценки и прогнозирования ЭВИ реализуется за счет применения глобальной сети ССИ. При этом точность навигационных определений не зависит от используемой навигацион-

ной системы. Применение высокоточной эфемеридно-временной информации, полученной с использованием глобальной сети станций сбора измерений, позволяет оценивать абсолютные координаты потребителей с погрешностью в единицы сантиметров. Полученные результаты показывают возможность применения СДКМ в качестве основы для построения перспективной системы высокоточного определения местоположения потребителя в реальном времени.

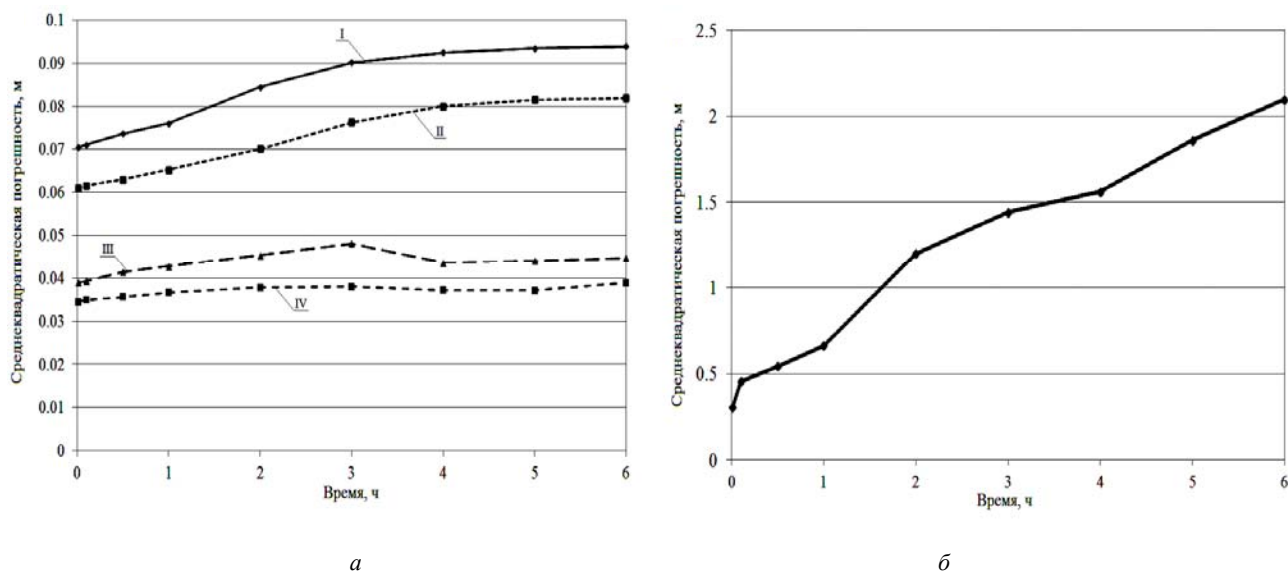


Рис. 2. Зависимости погрешности прогнозирования эфемерид (а) и ухода бортовой шкалы времени (б) НКА ГЛОНАСС при различной длительности интервала накопления ИТНП: I – 1 сутки; II – 2 суток; III – 3 суток; IV – 4 суток

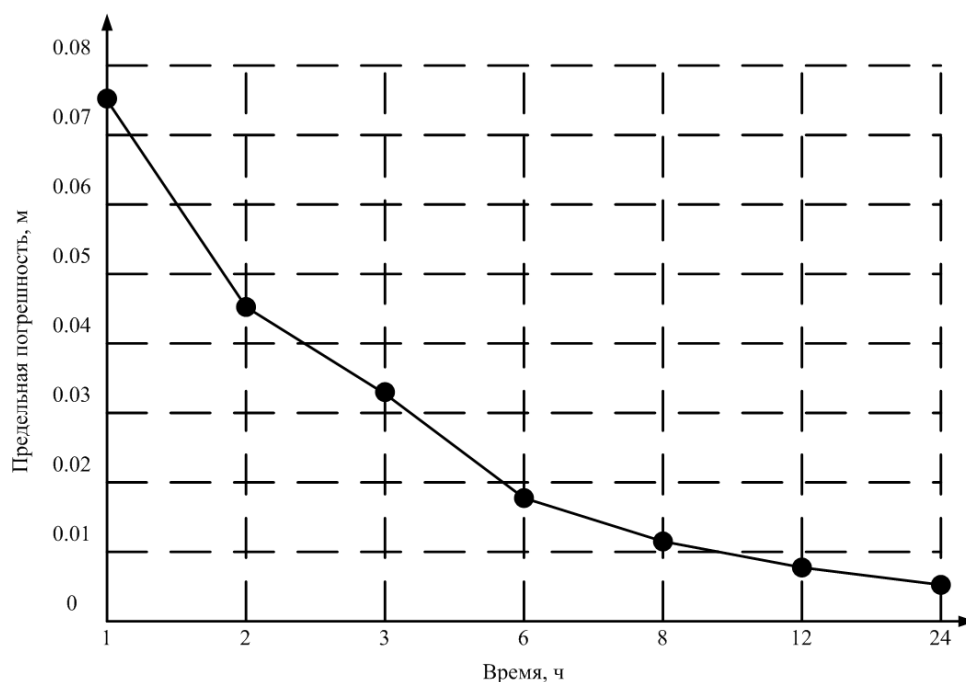


Рис. 3. Погрешность апостериорной оценки координат стационарного потребителя

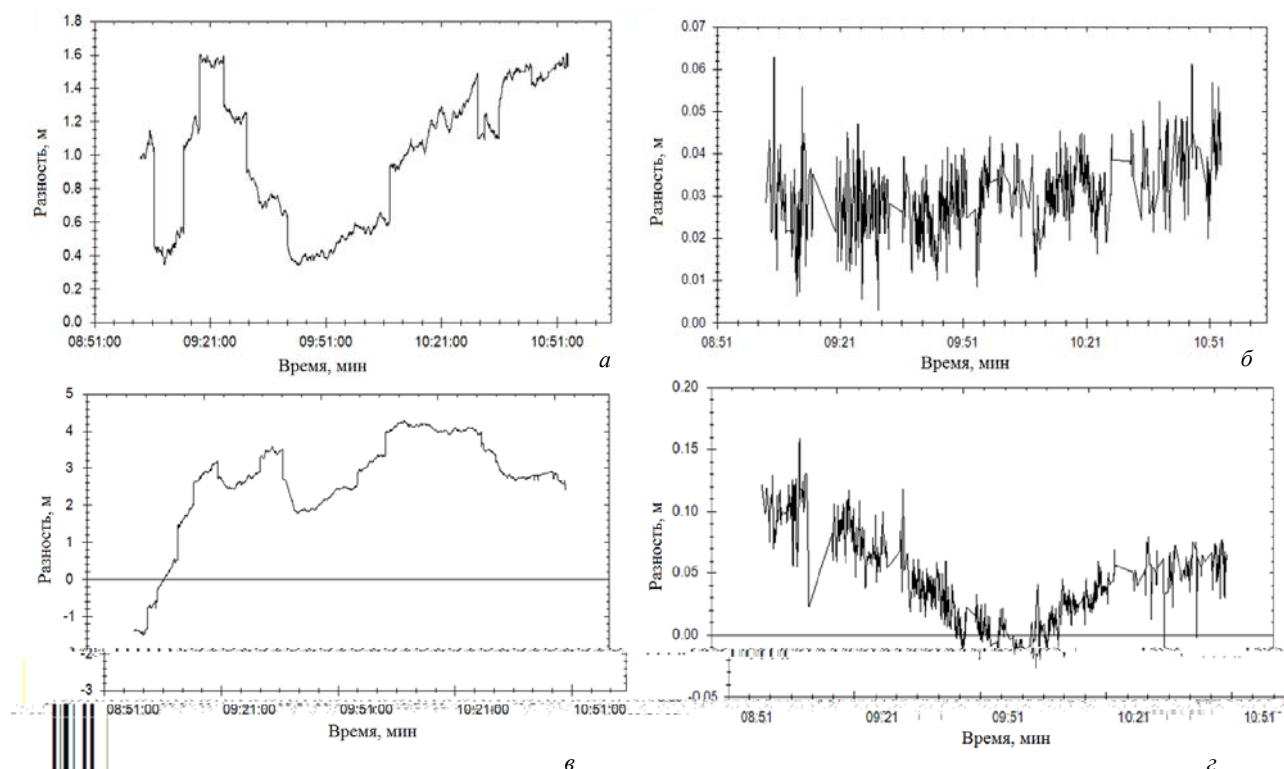


Рис. 4. Разность в оценке плановых координат (а, в) и высоты (б, г) подвижного потребителя в абсолютном режиме (а, б) и режиме высокоточного определения местоположения (в, г) относительно значений, полученных в режиме RTK

Библиографические ссылки

1. Xu G. GPS. Theory, algorithms and applications. Second edition. Springer, 2007. 340 p.
2. Intern. GNSS service strategic plan 2008–2012. IGS Central Bureau. Pasadena, USA : Jet Propulsion Laboratory, 2008. 16 p.
3. Kouba J., Heroux P. GPS precise point positioning using IGS orbit products. – Physics and Chemistry of the Earth. 2001. Pt. A. Vol. 26. Iss. 6–8. P. 573–578.
4. Precise point positioning with ambiguity resolution in real-time / Mervant L. et al. Proc. ION GNSS 21th Intern. techn. meeting of the satellite division. Savannah, USA, 2008. P. 397–405.
5. Новый сервис высокоточного позиционирования G2 для GPS и ГЛОНАСС / Т. Мелгард, Э. Виджен, О. Орпен, Хельга Улштайн Д. // Геопрофи. 2010. № 5. С. 11–17.
6. Дворкин В. В., Карутин С. Н., Глухов П. Б. Анализ состояния и перспектив развития технологий высокоточного местоопределения по сигналам ГНСС // Радиотехника. 2011. № 3. С. 4–13.
7. Resolution of GPS carrier phase ambiguities for Precise Point Positioning (PPP) with daily observations / Ge M., G. Gendt, M. Rothacher et al. // J. Geod. 82 (7). 2008. P. 389–399.
8. Ankit Raj Mathur, Toran-Marti F., Dr. Ventura J. Traveset SiSnet user interface. Rev. 3.1. 2006. 69 p.
9. Laurichesse D., Mercier F., Berthias J. P. Real-time PPP with undifferenced integer ambiguity resolution, experimental results. 23rd Int. Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Portland, OR, September 21–24, 2010. P. 2534–2544.

10. Collins P. Isolating and Estimating Undifferenced GPS Integer Ambiguities. ION NTM 2008, 28–30 January 2008, San Diego, CA. P. 720–732.

11. P. de Jonge, C. Tiberius. The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects. Delft Geodetic Computing Centre, 1996. 50 p.

References

1. Xu G. GPS. *Theory, algorithms and applications*. Second edition. Springer, 2007, p. 340.
2. Intern. GNSS service strategic plan 2008–2012. *IGS Central Bureau*. Pasadena, USA, Jet Propulsion Laboratory, 2008, p. 16.
3. Kouba J., Heroux P. *GPS precise point positioning using IGS orbit products*. Physics and Chemistry of the Earth. 2001. Pt. A. Vol. 26. Iss. 6–8. P. 573–578.
4. Mervant L. et al. Precise point positioning with ambiguity resolution in real-time. Proc. ION GNSS 21th Intern. techn. meeting of the satellite division. Savannah, USA, 2008, p. 397–405.
5. Melgard T., Vidgen E., Orpen O., Helga Ulstein D. *Geoproph*, 2010, no. 5, p. 11–17.
6. Dvorkin V. V., Karutin S. N., Glukhov P. B. *Radiotechnics*, 2011, no. 3, p. 4–13.
7. Ge M., Gendt G., Rothacher M., Shi C., Liu J. Resolution of GPS carrier phase ambiguities for Precise Point Positioning (PPP) with daily observations. *J. Geod.* 82 (7). 2008, p. 389–399.
8. Ankit Raj Mathur, Felix Toran-Marti, Dr. Javier Ventura-Traveset SiSnet user interface. Rev. 3.1, 2006, p. 69.

9. Laurichesse D., Mercier F., Berthias J. P. Real-time PPP with undifferenced integer ambiguity resolution, experimental results. 23rd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Portland, OR, September 21–24, 2010, p. 2534–2544.

10. Collins P. Isolating and Estimating Undifferenced GPS Integer Ambiguities. ION NTM 2008, 28–30 January 2008, San Diego, CA, p.720–732.

11. P. de Jonghe, Tiberius C. The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects. Delft Geodetic Computing Centre, 1996, 50 p.

© Дворкин В. В., Карутин С. Н., 2013

УДК 621.391.63

ВОПРОСЫ ТОЧНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ БОРТОВОЙ БЕЗЗАПРОСНОЙ КВАНТОВО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

А. С. Жабин¹, П. И. Набокин¹, Д. С. Батеев², В. А. Анжина²

¹ОАО «Научно-производственная корпорация «Системы прецизионного приборостроения»
Россия, 111024, Москва, ул. Авиамоторная, 53

²ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнева
Россия, 662972, г. Железнодорожный Красноярского края, ул. Ленина, 52
E-mail: nab-pavel@yandex.ru

Представлены материалы разработки опытного образца бортовой беззапросной квантово-оптической системы. Для решения поставленных задач был разработан измеритель временных интервалов с двухступенчатой системой фазовой синхронизации. Отработка опытного образца бортовой беззапросной квантово-оптической системы проводилась автономно и в составе космического аппарата «Глонасс». В статье приведены факторы, влияющие на точность регистрации лазерного импульса в бортовой шкале времени. Проведена оценка погрешности регистрации импульса. С помощью бортовой системы регистрации лазерных импульсов возможно проведение мониторинга бортовых синхронизирующих устройств (в том числе – определения точности и стабильности их шкал времени), сличения бортовых синхронизирующих устройств с центральными синхронизаторами ГНСС ГЛОНАСС, сличения шкал времени центральных синхронизаторов, в том числе разнесенных на континентальные или межконтинентальные расстояния.

Ключевые слова: лазерное определение положения, пикосекундная точность, точное измерение времени.

QUESTIONS OF SPACECRAFT LASER PULSES REGISTRATION ACCURACY WITH THE USE OF THE ONBOARD QUERY-FREE QUANTUM-OPTICAL SYSTEM

A. S. Zhabin¹, P. I. Nabokin¹, D. S. Bateev², V. A. Anzhina²

¹JSC “Research-and-Production Corporation “Precision Systems and Instruments”
53 Aviamotornaya str., Moscow, 111024, Russia. E-mail: nab-pavel@yandex.ru

²JSC “Academician M. F. Reshetnev “Information Satellite Systems”
52 Lenin str., Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, 662972, Russia

The authors present the materials of development of prototype of on-board query-free quantum-optical system. For solution of this problem a time intervals measuring instrument with two-stage phase alignment system was designed. Testing of prototype of the on-board query-free quantum-optical system was conducted autonomous and within the spacecraft "Glonass". The authors reveal the factors affecting the accuracy of registration of the laser pulse in the on-board time scale; estimate of the error of pulse detection. With the use of the instrumentality of the on-board query-free quantum-optical system we can describe accuracy and stability of the on-board synchronizer blocks and make comparative measurements of ground central synchronizers of GNSS GLONASS and on-board synchronizers, as well as measurements of ground central synchronizers including synchronizers spaced within one continent or inter-continently.

Keywords: Optical laser location, picosecond accuracy, precision time measurement.

Лазерные системы мониторинга и передачи времени потенциально позволяют достичь пикосекундных уровней точности при решении задач высокоточ-

ного контроля частотно-временных параметров ГНСС ГЛОНАСС и метрологической аттестации радиочастотных технологий передачи времени.