

**Развитие в ФГУП ВНИИФТРИ
программно-аппаратных средств определения
эфемеридно-временной информации
космических аппаратов ГНСС
в оперативном и апостериорном режимах**

© И. В. Безменов, С. Л. Пасынок

ФГУП «ВНИИФТРИ», р. п. Менделеево, Московская обл., Россия

Разработаны алгоритм и программа расчета в срочном режиме эфемеридно-временной информации (координат и поправок часов) космических аппаратов ГНСС (ГЛОНАСС и GPS) по данным, полученным со станций слежения. Представлены результаты тестовых расчетов за январь 2013 г., полученные из обработки данных измерений 450 станций сети IGS.

Ключевые слова: космический аппарат (КА), ГЛОНАСС, GPS, эфемериды КА, поправки часов КА.

Введение

Как известно, эфемеридно-временная информация (ЭВИ) космических аппаратов (КА) ГНСС (ГЛОНАСС+GPS) является основой для многих приложений в области космической геодезии, проведения кадастровых работ, точного позиционирования объектов, как неподвижно расположенных на поверхности Земли, так и перемещающихся в околоземном пространстве. Ряд Аналитических Центров, как за рубежом, так и на территории Российской Федерации, осуществляют расчеты орбит и поправок часов КА ГНСС в оперативном режиме по данным, полученным со станций слежения, входящих в сеть Международной ГНСС-службы (IGS) [1]. Получаемые разными Центрами значения ЭВИ при этом могут отличаться друг от друга. Поскольку точные значения координат орбит КА остаются неизвестными, то для получения опорных значений прибегают к процедуре комбинирования [2–3]. Именно таким образом, начиная с 1993 г., получают так называемые

точные орбиты IGS для спутников GPS. Аналогичная процедура в рамках программы IGLOS-PP (International GLONASS Service Pilot Project) применяется Центром национального агентства США по атмосфере и океанам (NOAA) [4] с 2004 г. до настоящего момента для получения орбит КА ГЛОНАСС. Данные по орбитам КА ГЛОНАСС формируются этим Центром на основе комбинированной обработки данных девяти Аналитических Центров и выкладываются в виде готовых продуктов на зарубежных серверах.

Возрастающая роль данных по орбитам КА ГЛОНАСС, используемых в решении многих прикладных задач космической геодезии, диктует необходимость иметь аналогичные продукты, формируемые уполномоченной российской метрологической организацией, которые могли бы служить официальными данными на территории РФ.

Разработка программно-аппаратного комплекса формирования эфемеридно-временной информации КА ГНСС в ГМЦ ГСВЧ

Для решения сформулированной выше задачи в Главном метрологическом центре Государственной службы времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) ФГУП «ВНИИФТРИ» была инициирована разработка программно-аппаратного комплекса формирования эфемеридно-временной информации космических аппаратов ГНСС (ПАК ЭВИ КА ГНСС). Данный комплекс предназначен для выполнения в непрерывном автоматическом режиме следующих задач:

1) сбор поступающей с пунктов слежения за КА ГНСС на серверы международных баз данных измерительной информации (файлов измерений и навигационных сообщений в формате RINEX — Receiver INdependent EXchange) и размещение этой информации в базе данных ГМЦ ГСВЧ, ФГУП «ВНИИФТРИ»;

2) расчет орбит и поправок часов КА ГЛОНАСС в трех следующих режимах:

- a) *оперативном* с задержкой в 6 ч и периодичностью 4 раза в сут;
- b) *срочном* с задержкой в 1 сут и периодичностью 1 раз в сут;
- c) *апостериорном* с задержкой в 2 нед. и периодичностью 1 раз в сут;

3) формирование отчетов и выкладывание ежедневно и еженедельно соответствующей информации на ftp-сервер ГМЦ ГСВЧ в формате SP3 — Standard Product 3.

Результаты по формированию апостериорной ЭВИ, получаемые для значений орбит и поправок часов КА ГНСС на основе процедуры комбинирования, были представлены авторами в [5–6].

В настоящей работе представлены результаты разработки программы расчета в срочном режиме орбит и поправок часов КА ГНСС по данным навигационных измерений в формате RINEX, получаемых со станций наблюдения, входящих в международную сеть IGS.

Вычисление орбит и поправок часов КА ГНСС

Задача вычисления орбит КА ГНСС является одной из двух задач по определению ЭВИ КА ГНСС. Она заключается в уточнении для каждого из КА 15 параметров, в которые входят:

- а) орбитальные параметры — шесть кеплеровских оскулирующих элементов (начальные условия в начале дуги);
- б) девять параметров эмпирической модели радиационного давления [7].

Процесс уточнения начинается с орбит нулевого приближения, в качестве которых выступают орбиты, спрогнозированные в предыдущие сутки, или полученные из навигационных сообщений в формате RINEX.

Определение поправок часов КА представляет собой вторую из задач по определению ЭВИ КА ГНСС. Поправки часов $c\delta_k$ и $c\delta^i$ приемника и спутника, входящие в уравнения наблюдения, определены относительно системных шкал времени (ШВ) GPS или ГЛОНАСС. Поскольку в уравнениях наблюдения фигурируют только разности между параметрами часов приемника и спутника ($c\delta_k - c\delta^i$), то можно определить только относительные параметры часов. Могут быть оценены, например, параметры для всех часов, кроме каких-либо одних, т. е. часы приемника или спутника должны быть фиксированы. С другой стороны, в качестве опорных часов может быть выбран ансамбль часов. При этом на сумму оцениваемых поправок часов, как правило, накладывается условие нулевого среднего. Выбранные опорные часы должны быть синхронизированы относительно системной ШВ.

Тестовые расчеты ЭВИ КА ГНСС

Для контроля точности вычисления ЭВИ КА ГНСС по разработанной в ГМЦ ГСВЧ методике были проведены тестовые расчеты за период: 01.01.2013 – 31.01.2013. Первый шаг к получению ЭВИ КА ГНСС со-

стоял в оценивании эфемерид КА. В качестве исходных данных выступали файлы измерений и навигационных сообщений в формате RINEX, полученные с более чем 450 станций слежения (из них 215 станций для КА ГЛОНАСС), входящих в международную сеть IGS.

Следующий шаг к формированию ЭВИ КА ГНСС состоял в вычислении поправок часов КА по данным измерений со станций слежения, а также по результатам, полученным на этапе оценивания эфемерид КА. В качестве исходных данных были использованы данные измерений, а в качестве внешних данных выступали оцененные эфемериды КА, а также параметры тропосферы и уточненные координаты станций.

Заключение

1. Используемая схема обработки по данным тестовых расчетов показала быструю сходимость (2–3 итерации) процесса уточнения орбит КА ГНСС. Для установления параметров орбит отдельных КА требовались дополнительные итерации.

2. Проведенные за указанный выше промежуток времени расчеты орбит и поправок часов показали, что: а) значения среднеквадратических погрешностей (СКП) вычисленных в ГМЦ ГСВЧ орбит КА GPS оказались не более 2 см (сравнение проводилось с апостериорными орбитами IGS); б) СКП вычисленных орбит КА ГЛОНАСС составили ~ 4–5 см (сравнение с апостериорными орбитами КА ГЛОНАСС IGS).

3. Проведенный анализ значений оцененных Аналитическими Центрами поправок часов КА GPS за 01.01.2013 показал, что: а) СКП вычисленных в ГМЦ ГСВЧ поправок часов КА GPS по сравнению с аналогичными данными IGS составили ~1 нс для всех КА; б) суммарная СКП, вычисленная по всем КА, составила 1.18 нс. Из девяти рассмотренных Центров меньшая СКП 1.04 нс оказалась только у данных, представленных GRG (Национальный центр космических исследований, Франция).

4. Проведенный анализ оцененных Аналитическими Центрами поправок часов КА ГЛОНАСС за 01.01.2013 показал, что: а) СКП вычисленных в ГМЦ ГСВЧ поправок часов КА ГЛОНАСС по сравнению с референсными значениями, формируемыми по данным четырех Центров, составили ~1–2 нс для всех КА; б) суммарная СКП, вычисленная за указанную дату по всем КА, составила 0.99 нс.

Литература

1. Электронный ресурс. <http://www.igs.org/network>.
2. *Beutler G., Kouba J., et al.* Combining the orbits of the IGS Analysis Centers // Bulletin Geodesique, 1995. — Vol. 69. — P. 200–222.
3. *Kouba J., Mireault Y., et al.* 1995, 1994 IGS Orbit/Clock Combination and Evaluation // Appendix I of the Analysis Coordinator Report, International GPS Service for Geodynamics (IGS) 1994 Annual Report. — P. 70–94.
4. Электронный ресурс. <https://www.ngs.noaa.gov>.
5. *Безменов И. В., Пасынок С. Л.* Формирование опорных значений координат и поправок часов КА ГЛОНАСС // Альманах современной метрологии, ISSN 2313-8068, 2015. — № 2. — С. 143–158.
6. *Bezmenov I. V., Pasynok S. L.* GLONASS Orbit/Clock Combination in VNIIFTRI // Proceedings of the Journées 2014 «Systemes de reference spatio-temporels» / Z. Malkin and N. Capitaine (eds.), Pulkovo observatory, 2015, ISBN 978-5-9651-0873-2 & ISBN 978-2-901057-70-3. — P. 215–216.
7. *Beutler G., Brockmann E., et al.* Extended Orbit Modelling Techniques at the CODE Processing Center of the IGS // Manuscripta Geodaetica, 1994. — 19 (6). — P. 367–386.

Development of the Software and Hardware in VNIIFTRI for a Rapid and Final Orbit/Clock Estimation of GNSS Satellites

I. V. Bezmenov, S. L. Pasynok

An algorithm and a software have been developed for a Rapid Orbit/Clock Estimation of the GNSS (GLONASS & GPS) satellites using the observation data (in RINEX n/g/d format) received from 450 tracking stations of the IGS network in January 2013. Test results are presented with the mentioned above data.

Keywords: satellite, GLONASS, GPS, satellite orbits, satellite clock corrections.