

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НА БАЗЕ ПУНКТА МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГСВЧ ФГУП «СНИИМ»

А. С. Толстикова, А. С. Томилова, А. А. Карауш, Е. А. Ханькова

Сибирский государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт метрологии, г. Новосибирск, Российская Федерация

Информационно-аналитический центр создается для целей мониторинга эфемеридно-временной информации и обеспечения информацией о состоянии орбитальных группировок ГЛОНАСС и GPS потребителей Сибири, а также метрологического и информационного обеспечения региональных систем дифференциальной коррекции. Метрологическое обеспечение осуществляется на базе Государственной службы времени и частоты ФГУП «СНИИМ». Улучшение точностных характеристик видится за счет передачи к аппаратуре сети опорных сигналов от эталона времени и частоты ВЭТ 1-19, информирования потребителей о состоянии орбитальной группировки ГНСС. В настоящее время сотрудниками Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли ФГУП «СНИИМ» для реализации информационно-аналитического центра разработано специальное программное обеспечение: программный комплекс для восстановления текущих навигационных параметров КА по данным беззапросных траекторных кодовых и фазовых измерений; программный комплекс для восстановления текущих моментов бортовых шкал времени орбитальных группировок навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS; программный комплекс для сравнения шкал времени пространственно-разнесенных высокостабильных часов и для сравнения частот генераторов этих часов по данным ГНСС-измерений; программный комплекс PVZ для расчета прогнозов параметров вращения Земли на 90 дней.

Ключевые слова: фазовые траекторные измерения, эфемеридно-временное обеспечение, навигационные параметры КА, бортовая шкала времени, параметры вращения Земли, синхронизация пространственно-разнесенных часов.

Введение

В ФГУП «СНИИМ» создается информационно-аналитический центр на базе пункта метрологического контроля ГСВЧ для целей:

- мониторинга бортовой эфемеридно-временной информации орбитальных группировок ГЛОНАСС и GPS по данным беззапросных траекторных измерений в метрологических пунктах ГСВЧ и другим данным;
- обеспечения потребителей Сибирского федерального округа информацией о состоянии орбитальных группировок ГНСС ГЛОНАСС и GPS;
- метрологического и информационного обеспечения региональных систем дифференциальной коррекции.

Центр представляет собой организационную структуру и аппаратно-программный комплекс, включающий:

- Государственный вторичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ВЭТ 1-19;
- аппаратуру приема навигационных сигналов ГНСС;
- аппаратуру синхронизации пространственно-разнесенных высокостабильных часов;
- средства вычислительной техники и пакеты СПО;
- комплексы методик выполнения измерений и пакеты нормативной и конструкторской документации.

В настоящее время для реализации информационно-аналитического центра разработано следующее специальное программное обеспечение.

Программный комплекс для восстановления текущих навигационных параметров КА по данным беззапросных фазовых измерений

Высокая точность оценивания достигнута за счет:

- использования в качестве исходных данных для расчетов беззапросных фазовых измерений с сети станций отечественной системы СДКМ (для ГЛОНАСС) и станций IGS (для GPS) [1];
- привлечения метода инструментальных переменных при формировании системы нормальных алгебраических уравнений [2];
- расчета прогнозов в режиме UltraRapid.

На рис. 1 представлены результаты восстановления текущих навигационных параметров КА (координат x, y, z) систем GPS и ГЛОНАСС по данным траекторных измерений.

Рис. 2 иллюстрирует среднесуточную погрешность значений параметров орбит КА GPS и ГЛОНАСС.

Программный комплекс для восстановления текущих моментов бортовых шкал времени орбитальных группировок навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS

Высокая точность оценивания достигнута за счет:

- использования в качестве исходных данных для расчетов оценок беззапросных фазовых измерений, выполняемых в пунктах метрологического контроля ГСВЧ РФ, оснащенных эталонными комплексами единиц времени, частоты и национальной шкалы времени [3];
- применения математических моделей нестабильности бортовых стандартов частоты, учитывающих, помимо собственной нестабильности, влияние факторов релятивистской и гравитационной природы [4];
- использования технологии Precise Point Positioning (PPP);

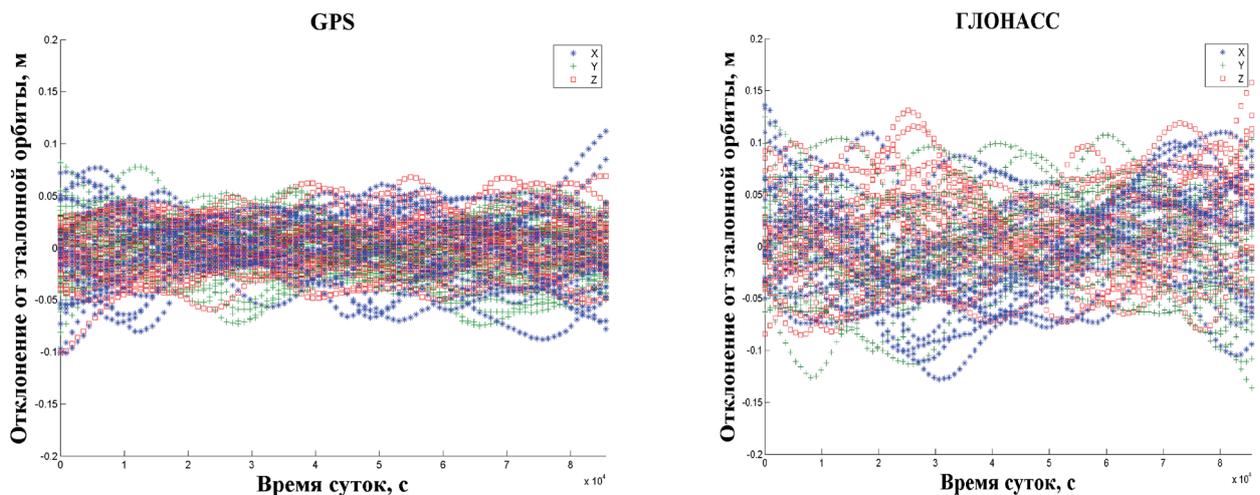


Рис. 1. Абсолютное отклонение орбит КА GPS и ГЛОНАСС от эталонных орбит на суточном интервале времени

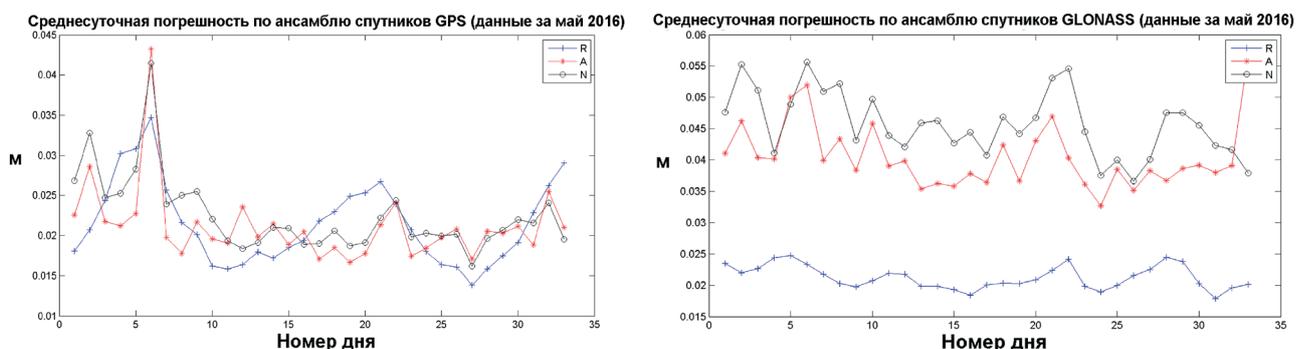


Рис. 2. Среднесуточная погрешность параметров орбит КА: R – по радиус-вектору; A – вдоль орбиты; N – по бинормали к орбите

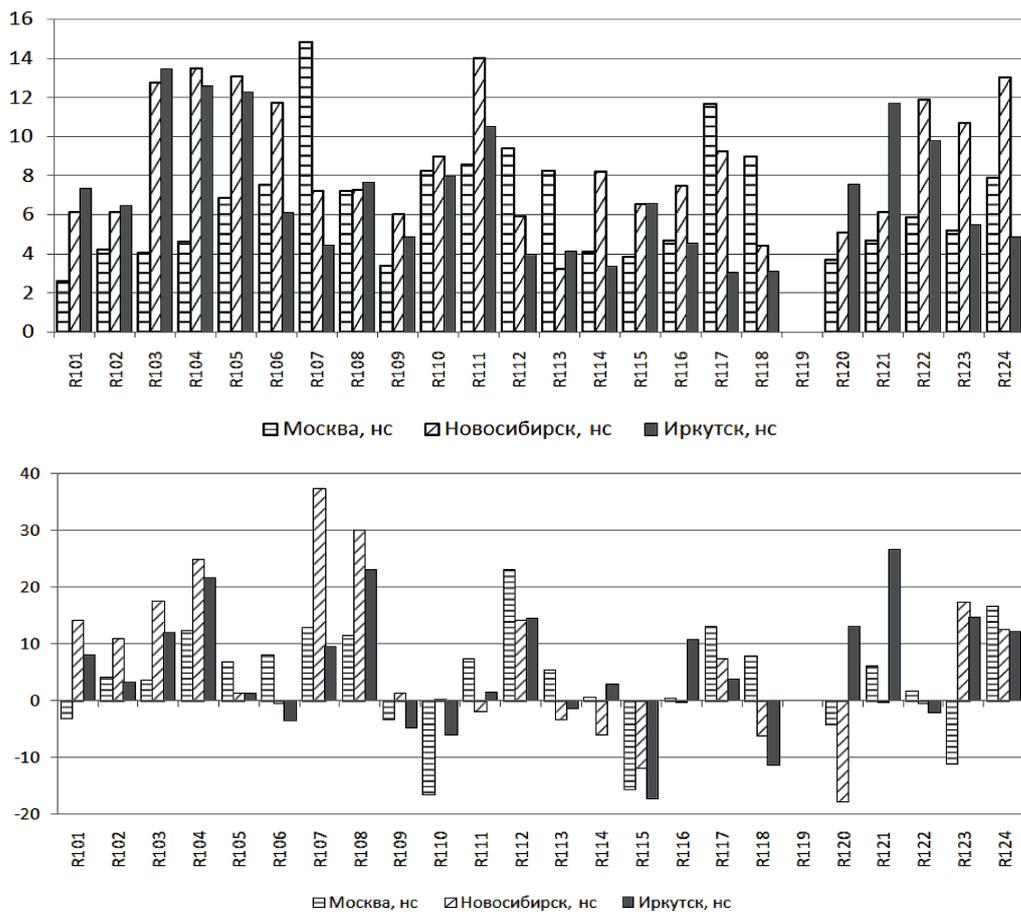


Рис. 3. Диаграммы математического ожидания и СКО оценок погрешностей компенсации уходов бортовых часов с помощью частотно-временных поправок

- оценивания погрешностей представления текущих моментов бортовых шкал времени с помощью бортовых частотно-временных поправок [3];
- расчета прогнозных значений поправок к бортовым шкалам времени в режиме UltraRapid.

В качестве иллюстрации приведены результаты оценивания погрешностей уходов действительных шкал времени по орбитальной группировке системы ГЛОНАСС (рис. 3). Фазовые измерения проводились 20 мая 2015 г. и получены в метрологических пунктах Государственной службы времени и частоты в г. Новосибирске, г. Москве и г. Иркутске.

Программный комплекс для сравнения шкал времени пространственно-разнесенных высокостабильных часов и для сравнения частот генераторов этих часов

Проводились экспериментальные исследования по оцениванию изменений частоты с помощью водородного стандарта типа Ч1-1006.

Перемещая этот стандарт на разные уровни гравитационного поля Земли и выполняя синхронные фазовые траекторные измерения по навигационным спутникам GPS, удалось получить оценку влияния этих уровней на частоту стандарта [5]. Использовались приемник Javad Sigma в местах расположения перемещаемого стандарта Ч1-1006 и однотипный приемник из состава вторичного эталона времени и частоты ВЭТ 1-19 (ФГУП «СНИИМ»).

Результаты измерений разностей текущих значений моментов шкал времени для пунктов нахождения стандарта Ч1-1006 в п. Шебалино и на перевале Семинский показаны на рис. 4. Трендовая составляющая к изменению моментов шкал времени, полученная МНК, характеризует значения частот стандарта Ч1-1006 в пунктах нахождения стандарта.

В п. Шебалино ход шкалы времени составил 1,75 нс на интервале времени 63 900 секунд, что соответствует частоте $2,736 \cdot 10^{-14}$. На перевале Семинский ход шкалы времени стандарта составил 2,55 нс на интервале времени 23 790 секунд, что соответствует частоте стандарта $10,71 \cdot 10^{-14}$. Таким образом, изменение частоты стандарта Ч1-1006, связанное с его перемещением от

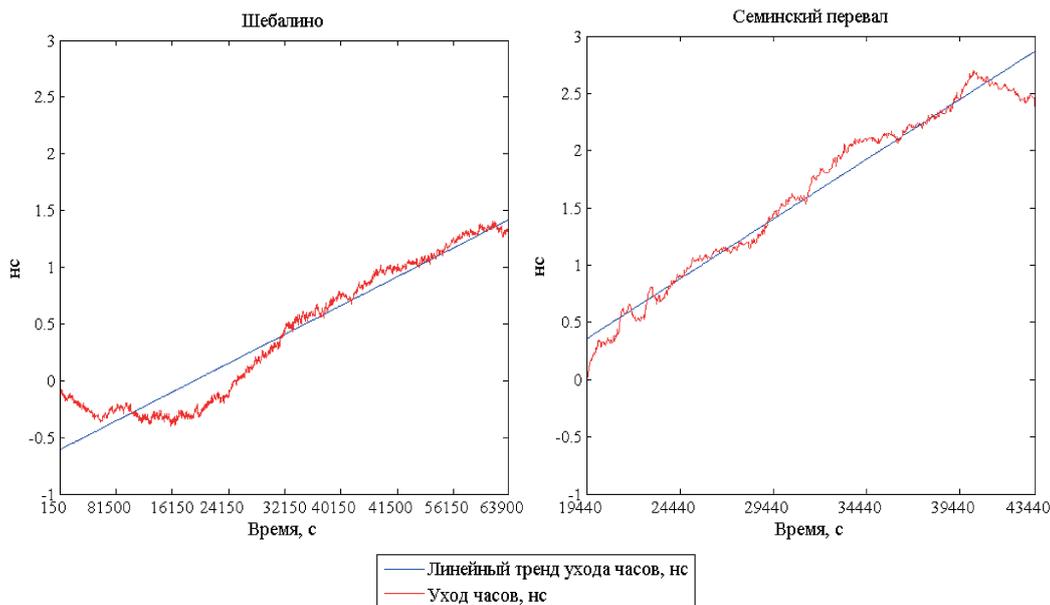


Рис. 4. Изменение частоты стандарта Ч1-1006 в п. Шебалино и на перевале Семинский

п. Шебалино на перевал Семинский, измеренное в системе вторичного эталона ВЭТ 1-19, составило $7,964 \cdot 10^{-14}$. Это основной результат эксперимента.

В эксперименте использовалась орбитальная группировка навигационных спутников GPS, радиовидимая одновременно в г. Новосибирске и в республике Алтай (п. Шебалино). Для обработки результатов траекторных измерений использовалось СПО, разработанное в ФГУП «СНИИМ».

Программный комплекс PVZ для расчета прогнозов параметров вращения Земли

Также одной из задач, решаемых на базе пункта ГСВЧ, является проведение регулярных определений параметров вращения Земли (ПВЗ) посредством спутниковых средств измерений.

Прогнозы рассчитываются на период в 90 дней и предоставляются в главный метрологический центр ГСВЧ и в международную службу вращения Земли (МСВЗ).

Прогнозы, рассчитанные с помощью СПО PVZ, участвуют в международном проекте МСВЗ Earth Orientation Parameters Combination of Prediction Pilot Project (ЕОРСРРР, <http://maia.usno.navy.mil/eorppp/results.html>). Результаты сравне-

ния прогнозов ПВЗ участников проекта ЕОРСРРР показали, что рассчитанные по СПО PVZ прогнозы обладают высоким уровнем точности и достоверности.

Заключение

Информационно-аналитический центр на базе пункта метрологического контроля ГСВЧ ФГУП «СНИИМ» создан для решения задач мониторинга эфемеридно-временной информации и обеспечения информацией о состоянии орбитальных группировок ГЛОНАСС и GPS потребителей Сибири, а также для метрологического и информационного обеспечения региональных систем дифференциальной коррекции.

Улучшение точностных характеристик координатно-временных определений потребителей ГНСС-услуг видится за счет привлечения Государственного вторичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ВЭТ 1-19, аппаратуры приема навигационных сигналов ГНСС, аппаратуры синхронизации пространственно-разнесенных высокостабильных часов, оригинальных средств вычислительной техники и пакетов СПО, разработанных сотрудниками ГСВЧ ФГУП «СНИИМ».

Список литературы

1. Blewitt G. Carrier Phase Ambiguity Resolution for the Global Positioning System Applied to Geodetic Baselines up to 2000 km // Journal of Geophysical Research. 1989. Vol. 94, No 8. P. 10187–10203.
2. Карауш А. А., Толстик А. С. Использование метода инструментальных переменных в задаче оценивания текущих навигационных параметров КА // Успехи современной радиоэлектроники. 2015. № 1. С. 44–48.
3. Ханькова Е. А., Толстик А. С. К задаче контроля частотно-временных параметров навигационного поля ГЛОНАСС // Известия Томского политехнического университета. 2015. № 5. С. 114–120.

4. Kouba J. Improved relativistic transformations in GPS // GPS Solutions. 2004. Vol. 8. P. 170–180.
5. Chronometric Measurement of Orthometric Height Differences by Means of Atomic Clocks / A. S. Tolstikov, S. M. Kopeikin, A. A. Karaush, E. A. Khanykova et al. // Gravitation and Cosmology. 2016. Vol. 22, No. 3. P. 234–244.

INFORMATION ANALYSYS CENTER BASED ON THE STATION OF METROLOGICAL CONTROL AT FSUE «SNIIM» TIME AND FREQUENCY SERVICE

A. S. Tolstikov, A. S. Tomilov, A. A. Karaush, E. A. Khanykova

Siberian State Scientific Research Institute of Metrology, Novosibirsk, Russian Federation

The Center performs GLONASS and GPS satellites clock drift and ephemeris data monitoring, provides constellations status data for users in Siberian Federal District and provides metrological and informational support for regional augmentation systems. Metrological maintenance is carried out on the basis of the State Time and Frequency Service of the FSUE «SNIIM». Improved accuracy characteristics seen by the transfer to the hardware network of reference signals from standard time and frequency VET 1-19, informing consumers about the state of the orbital grouping of GNSS. Currently, officers of the State service of time, frequency and determination of the Earth rotation parameters FSUE «SNIIM» for the implementation of information-analytical center developed a special software: software package to restore the current navigation satellites parameters according unrequested trajectory code and phase measurements; software package for recovery currently onboard time scales of GLONASS constellations of navigation satellites and GPS; software package for the comparison of time scales spatially separated and highly stable clock generators for comparing the frequency of the clock according to the GNSS measurements; PVZ software package to calculate forecasts of the Earth rotation parameters for 90 days.

Key words: phase trajectory measurements, ephemeris and clock drift data, satellites navigational parameters, satellites clock time scale, the Earth orientation parameters, remote clocks synchronization.

References

1. Blewitt G. Carrier Phase Ambiguity Resolution for the Global Positioning System Applied to Geodetic Baselines up to 2000 km // Journal of Geophysical Research. 1989. Vol. 94, No 8. P. 10187–10203.
2. Karaush A. A., Tolstikov A. C. Using instrumental variables method in problems of estimating current navigation parameters of GNSS satellites // Uspehi sovremennoi radioelektroniki. 2015. Vol. 1. P. 44–48.
3. Khanykova E. A., Tolstikov A. C. On the Problem Of Time-Frequency Parameters Control Of GLONASS Navigation Field // Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. 2015. Vol. 5. P. 114–120.
4. Kouba J. Improved relativistic transformations in GPS // GPS Solutions. 2004. Vol. 8. P. 170–180.
5. Chronometric Measurement of Orthometric Height Differences by Means of Atomic Clocks / A. S. Tolstikov, S. M. Kopeikin, A. A. Karaush, E. A. Khanykova et al. // Gravitation and Cosmology. 2016. Vol. 22, No. 3. P. 234–244.