

## Методы и средства определения ПВЗ ГМЦ ГСВЧ

© С. Л. Пасынок, И. В. Безменов, Н. А. Вострухов,  
И. Ю. Игнатенко, А. Н. Синёв, Е. В. Сысак, Е. Н. Цыба

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

В части определения ПВЗ ФГУП «ВНИИФТРИ» выполняет функции Главного метрологического центра Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли; центра обработки и анализа данных ГСВЧ; измерительного пункта сети Росстандарта; центра сбора и предварительной обработки данных измерений, поступающих с измерительной сети Росстандарта. В статье рассматриваются методы и средства, применяемые в ГМЦ ГСВЧ для решения этих задач.

**Ключевые слова:** параметры вращения Земли, всемирное время, комбинирование, служба определения ПВЗ, радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами, глобальные навигационные спутниковые системы, спутниковая лазерная дальнометрия.

### Введение

Работы по оперативному определению параметров вращения Земли (ПВЗ) в ФГУП «ВНИИФТРИ» имеют долгую многолетнюю историю [1]. В настоящее время в части определения ПВЗ ФГУП «ВНИИФТРИ» выполняет следующие функции:

— Главного метрологического центра Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ), на который, согласно Постановлениям Правительства РФ № 225 и № 323, была возложена обязанность по оперативному формированию официальных данных о ПВЗ;

— центра обработки и анализа данных ГСВЧ, осуществляющего определение ПВЗ из обработки измерений, полученных с помощью радиоинтерферометров со сверхдлинными базами (РСДБ), спутниковых лазерных дальномеров (СЛД) и навигационных приёмников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС); а также

осуществляющего определение координат и поправок часов космических аппаратов (КА) GPS и ГЛОНАСС;

— измерительного пункта сети Росстандарта, выполняющего измерения для целей по определению ПВЗ, в которую помимо ГМЦ ГСВЧ входят пункты измерений, расположенные в городах Иркутск, Новосибирск, Хабаровск и Петропавловск-Камчатский;

— центра сбора и предварительной обработки данных измерений, поступающих с измерительной сети Росстандарта.

### **Определение ПВЗ из совместной обработки данных в ГМЦ ГСВЧ**

В настоящее время в ГМЦ ГСВЧ осуществляется непрерывная деятельность по оперативному определению и прогнозированию ПВЗ на основе сводной (совместной) обработки всей совокупности данных, формированию опорных значений ПВЗ и распространению их в установленной форме.

В ГМЦ ГСВЧ функционирует Центр сводной обработки и определения ПВЗ (ЦСОО ПВЗ) ГСВЧ. Деятельность ГСВЧ регламентируется двумя основными законодательными актами:

— положением о ГСВЧ, утвержденным Постановлением Правительства РФ от 23 марта 2001 г. № 225 (с изменениями от 2 августа 2005 г., 10 марта, 2 сентября 2009 г., 8 сентября 2010 г., 31 января 2012 г.);

— федеральным законом от 28.06.2008 №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

Ежесуточная совместная обработка данных о ПВЗ на уровне временных рядов и оперативная передача ежесуточных бюллетеней в центры модернизированной ГНСС ГЛОНАСС ведётся в ГМЦ ГСВЧ начиная с июля 2006 года по методике, разработанной М. Б. Кауфманом [2]. В таблице приведен список рядов, по которым проводилось оперативное определение ПВЗ в 2016 году. В таблице величины  $X$ ,  $Y$ ,  $UT1$ ,  $d\psi$ ,  $d\varepsilon$  означают координаты земного полюса, всемирное время и поправки к теоретическим углам прецессии/нутаии соответственно. ИАЦ КВНО — Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения ГЛОНАСС ФГУП «ЦНИИмаш», СВОЭВП — система высокоточного определения эфемеридно-временных поправок ГЛОНАСС Роскосмоса.

В результате вычислений по вышеуказанной методике определяются оперативные официальные значения ПВЗ и формируются следующие виды информации о ПВЗ:

- бюллетени Q формируются ежесуточно и содержат оперативные значения ПВЗ на истекшие сутки и прогноз на следующие 30 суток;
- первая часть бюллетеня А формируется еженедельно (каждый четверг) и содержит срочные значения ПВЗ за истекшую неделю ГСВЧ и прогноз на следующие 7 недель с недельным шагом. При этом перерабатываются накопленные измерения за истекшую календарную неделю и уточняются систематические погрешности используемых независимых рядов;
- информационное сообщение DT по мере необходимости.

Таблица

Источники данных для совместной обработки  
и определения официальных (опорных) значений ПВЗ в 2016 г.

№ п/п	Центр вычислений	Технич. средства определения ПВЗ	Определяемые параметры
1	ГМЦ ГСВЧ	GPS	$X, Y, UT1$
2	ГМЦ ГСВЧ	РСДБ	$X, Y, UT1, d\psi, d\varepsilon$
3	ГМЦ ГСВЧ	Лаз. локация ИСЗ	$X, Y$
4	ИПА РАН	Лаз. локация ИСЗ	$X, Y, UT1$
5	ИПА РАН	GPS	$X, Y, UT1$
6	ИПА РАН	РСДБ	$X, Y, UT1, d\psi, d\varepsilon$
7	СВОЭВП	GPS/ГЛОНАСС	$X, Y, UT1$
8	ИАЦ КВНО	Лаз. локация ИСЗ	$X, Y$
9	ИАЦ КВНО	GPS	$X, Y$

Информационное сообщение DT содержит информацию о всемирном времени с точностью до 15 мс в виде кода, предназначенного для передачи в составе радиосигналов.

В настоящее время в экспериментальном режиме ведётся выпуск бюллетеня «А» с углами прецессии/нутаии, публикуемыми в виде поправок к теоретическим (MAC1980) значениям этих углов.

Распространение данных о ПВЗ ГСВЧ осуществляется в соответствии с положениями и протоколами информационного взаимодействия:

- ежесуточно до 10 часов утра по Московскому времени отправляются по автоматизированному каналу связи между ГМЦ ГСВЧ и АЦУС «Цель»;
- выкладываются на сервер ГМЦ ГСВЧ (<ftp.vniiftri.ru>);

— в случае нарушений в работе каналов связи рассылаются по факсу или сообщаются по телефону;

— выпускаются в виде печатных бюллетеней серий А и Е и рассылаются по почте.

С 2016 года бюллетени также доступны через сайт ЦСОО ПВЗ ГМЦ ГСВЧ (<http://pvz.vniiftri.ru/>).

### **Определение ПВЗ по данным ГНСС-измерений в ГМЦ ГСВЧ**

В ГМЦ ГСВЧ обработка результатов измерений с помощью приёмников сигналов ГНСС и вычисление ПВЗ по ним выполняются при помощи программного комплекса BERNESE 5.0, разработанного в астрономическом институте Бернского университета (Швейцария) [3]. Алгоритм [2] базируется на так называемом методе точного точечного позиционирования PPP (Precise Point Positioning).

### **Определение ПВЗ по данным СЛД-измерений в ГМЦ ГСВЧ**

С 15 мая 2015 года в ГМЦ ГСВЧ возобновлены регулярные оперативные определения ПВЗ по данным лазерной локации ИСЗ с помощью новой программы обработки СЛД-измерений, разработанной в ГМЦ ГСВЧ [4]. В 2016 году был внесён ряд усовершенствований в алгоритм обработки, что позволило повысить точность и оперативность по лазерным измерениям координат земного полюса [5].

### **Определение ПВЗ по данным РСДБ-измерений в ГМЦ ГСВЧ**

Обработка РСДБ-измерений с 2004 г. проводится в ГМЦ ГСВЧ с помощью программного комплекса ОССАМ [6], адаптированного к условиям оперативной службы. С 2012 г. ведётся обработка РСДБ-измерений в экспериментальном режиме с помощью нового программного пакета VieVS [7], разработанного в Венском технологическом университете и модернизированного в ГМЦ ГСВЧ для целей ведения оперативной службы [8]. С февраля 2017 года в ГМЦ ГСВЧ начата регулярная обработка результатов РСДБ-измерений с помощью российского программного комплекса «Ариадна» [9], адаптированного к условиям оперативной службы. Внедрение новой программы позволило повысить точность и оперативность ПВЗ, определяемых в ГМЦ ГСВЧ по данным РСДБ-измерений.

### **Определение координат и поправок часов КА ГНСС в ГМЦ ГСВЧ**

Для определения ПВЗ по навигационным измерениям необходимо также определять координаты и поправки часов космических аппара-

тов (КА) ГНСС. В ГМЦ ГСВЧ для этой цели была разработана новая программа расчёта орбит КА ГНСС по данным измерений станций слежения, оснащённых высокоточными геодезическими приёмниками сигналов GPS или GPS ГЛОНАСС. Результаты экспериментальных вычислений по этой программе представлены в [10].

### Проведение ГНСС-измерений и СЛД-измерений в ГМЦ ГСВЧ

Как на измерительном пункте Менделеево, в ФГУП «ВНИИФТРИ» проводятся измерения с помощью ГНСС приёмников и спутникового лазерного дальномера — малогабаритной модульной квантово-оптической системы (ММКОС) «Сажень-ТМ-БИС». Близость этих средств измерений к Государственному эталону времени и частоты (ГЭВЧ) и Государственному специальному эталону длины предоставляет уникальные возможности для метрологического обеспечения этих средств [11–13].

Пункт Менделеево является одним из пунктов измерительной сети Росстандарта, в которую также входят пункты ФГУП «СНИИМ» и филиалов ФГУП «ВНИИФТРИ» (расположенные на пунктах метрологического контроля Росстандарта в городах Новосибирск, Иркутск, Хабаровск и Петропавловск-Камчатский). Пункты этой сети оборудованы закупленными в рамках ФЦП «ГЛОНАСС» современными геодезическими высокоточными мультисистемными и мультисистемными навигационными приемниками SIGMA производства JAVAD GNSS, а пункт в г. Иркутске оборудован также спутниковым лазерным дальномером ММКОС «Сажень-ТМ-БИС» [14, 15].

Положение внутренних шкал времени (ШВ) ГНСС приёмников относительно PPS-стандартов, от которых они берут частоту, непрерывно контролируется. В качестве примера на рис. 1 приведём результаты контроля положения этих ШВ за одни сутки (время в долях суток, отклонения ШВ в секундах).

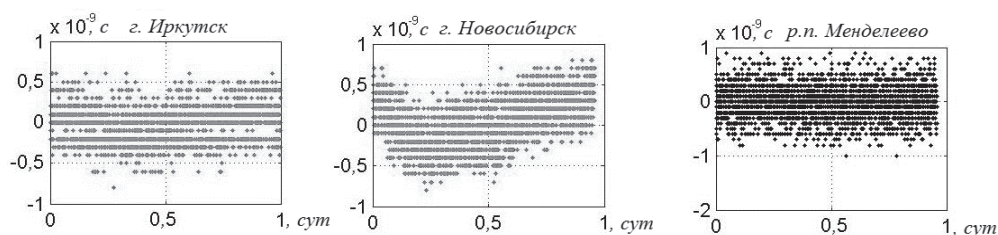


Рис. 1. Результаты контроля разностей шкал времени приёмников и стандартов времени и частоты

Результаты измерений поступают в ГМЦ ГСВЧ, где совместно с результатами измерений с других сетей используются для определения ПВЗ по спутниковым измерениям.

### **Развитие средств определения ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ**

С целью повышения точности и оперативности данных о ПВЗ в настоящее время ведутся работы по модернизации средств ГМЦ ГСВЧ в рамках ФЦП ГЛОНАСС.

В рамках опытно-конструкторской работы (ОКР) «Корреляторы» ИПА РАН в ГМЦ ГСВЧ был создан опытный образец программного коррелятора. ФГУП «ВНИИФТРИ» участвовал в этой работе как соисполнитель.

Для целей модернизации Центров обработки и анализа данных (ЦОАД) в 2014–2017 гг. проводится ОКР «Модернизация центров обработки и анализа данных с целью высокоточного определения параметров вращения Земли с одновременным уточнением фундаментальных земной и небесной систем координат в интересах системы ГЛОНАСС». В рамках этой работы проводится модернизация ЦОАД РАН, ЦОАД ГМЦ ГСВЧ и создаётся сегмент обмена данными (СОД) ФГУП «ЦНИИмаш».

В результате модернизированные ЦОАД в совокупности смогут проводить совместную обработку наблюдений различных типов для получения на суточном интервале в интересах системы ГЛОНАСС: всех параметров вращения Земли, шкал времени (бортовых часов навигационных космических аппаратов и наземных часов приемников), орбит геодезических и навигационных космических аппаратов, параметров модели атмосферы, длительности суток, необходимых для обеспечения точности определения геоцентра не хуже 0.01 м.

В части модернизации ЦОАД ГМЦ ГСВЧ закуплена вычислительная техника и разработано программное обеспечение. Для программных комплексов определения ПВЗ по отдельным видам измерений были разработаны и внедрены модули, позволяющие формировать результаты уравнивания отдельных сессий измерений в виде файлов в формате SINEX (Solution (Software/technique) INdependent EXchange). Технология совместной обработки (комбинирования) отдельных решений в виде SINEX-файлов в настоящее время признана [16] наиболее перспективной для совместной обработки измерений различных видов.

На 2017 год намечены предварительные и приёмочные испытания ЦОАД РАН, ГМЦ ГСВЧ и СОД «ЦНИИмаш».

## Заключение

ГСВЧ в 2016 году обеспечивала потребности страны в узаконенной информации о ПВЗ согласно требованиям Постановлений Правительства РФ № 225 и № 323. Для поддержания соответствия технических средств ГМЦ ГСВЧ неуклонно возрастающим требованиям ГЛОНАСС и других потребителей необходимо предусмотреть соответствующее совершенствование этих средств.

## Литература

1. Белоцерковский Д. Ю., Палий Г. Н. Государственная служба времени и частоты СССР // Измерительная техника. — 1972. — № 12. — С. 38–42.
2. Кауфман М. Б. Точные методы измерения параметров вращения Земли в интересах навигационно-временных определений // Точные измерения для высоких технологий. — Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2008. — С. 80–118.
3. Bernese GPS Software. Version 5.0. Edited by Rolf Dach, Urs Hugentobler, Pierre Fridez, Michael Meindl. — 2007. — Bern: Astronomical Institute of Bern University. — P. 1–612.
4. Цыба Е. Н. Определение параметров вращения Земли по результатам лазерной локации ИСЗ в ГМЦ ГСВЧ // Тезисы докладов Всероссийской астрометрической конференции «Пулково–2015», 21–25 сентября 2015 г. — СПб.: ГАО РАН, 2015. — С. 47.
5. Пасынок С. Л., Безменов И. В., Игнатенко И. Ю., Цыба Е. Н. Современное состояние методов и средств оперативного определения параметров вращения Земли в ГМЦ ГСВЧ // Метрология времени и пространства. Материалы VIII Международного симпозиума. — Сборник тезисов докладов. — Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2016. — С. 193–196.
6. Titov O., Zarraga N. OCCAM5.0 // Users Guide, ftp.ga.gov.ua/geodesy-outgoing\vlbi\software\OCCAM5.0\doc\occam.DOC (электронный ресурс).
7. Boehm J., Spicakova H., Plank L., Teke K., Pany A., Wresnik J., English S., Nilsson T., Schuh H., Hobiger T., Ichikawa R., Koyama Y., Gotoh T., Kubooka T., Otsubo T. Plans for the Vienna VLBI Software VieVS // Proceedings of the 19th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting, 24–25 March 2009, Bordeaux, edited by G. Bourda, P. Charlot, and A. Collioud. — 2009. — P. 161–164.
8. Кауфман М. Б., Пасынок С. Л. Оперативные вычисления параметров вращения Земли по данным РСДБ с помощью программы VieVS // Труды ИПА РАН. — Вып. 23. — СПб.: Наука, 2012. — С. 361–363.
9. Жаров В. Е. Основы радиоастрометрии // М: Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова. — 2011. — С. 208–224.
10. Безменов И. В., Пасынок С. Л. Развитие во ФГУП ВНИИФТРИ программно-аппаратных средств определения эфемеридно-временной информации космических аппаратов ГНСС в оперативном и апостериорном режимах // Труды ИПА РАН. — Вып. 42. — С. 19–23.

11. Жестков А. Г., Игнатенко И. Ю., Кауфман М. Б., Цыба Е. Н. Анализ систематических погрешностей нового лазерного спутникового дальномера ВНИИФТРИ «Сажень-ТМ» // Метрология времени и пространства. Материалы 6-го Международного симпозиума. — Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2012. — С. 283–285.

12. Ignatenko I., Zhestkov A. Metrological support of SLR measurements // International Scientific-Technical Conference “One-way and Two-way SLR for GNSS Co-located With RF Techniques” (WPLTN-2012). Book of Abstracts. September 24–28, St. Petersburg, Russia. — 2012. — P. 49–50.

13. Blinov I., Ignatenko I. Metrological provision of uniformity of measurements of time and frequency in the Satellites Laser-Ranging system // 19-th International Workshop on Laser Ranging “Celebrating 50 Years of SLR: Remembering the Past and Planning for the Future”, Annapolis, MD, USA, October 27–31, 2014. — 2014.

14. Игнатенко И. Ю., Жестков А. Г., Шлегель В. Р., Емельянов В. А. Метрологические аспекты лазерно-локационных измерений // Метрология времени и пространства. Материалы VIII Международного симпозиума. Сборник тезисов докладов. — Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2016. — С. 192.

15. Емельянов В. А., Игнатенко И. Ю., Модестова Г. И. Совместная локация спутников на станциях «Менделеево» и «Иркутск» для решения задачи контроля эталона большой длины // Метрология времени и пространства. Материалы VIII Международного симпозиума, Сборник тезисов докладов. — Менделеево: ФГУП «ВНИИФТРИ», 2016. — С. 235.

16. McCarthy D. D., Luzum B. J. Combination of Precise Observations of the Orientation of the Earth // Bulletin Géodésique, 1991. — Vol. 65. — P. 22.

## **Methods and Facilities of EOP Evaluation by the MMC SSTF**

**S. L. Pasynok, I. V. Bezmenov, N. A. Vostruhov, I. Yu. Ignatenko,  
A. N. Sinev, E. V. Sysak, E. N. Tsyba**

VNIIFTRI plays the roles of the Main metrological center (MMC) of the State Service of Time, Frequency and EOP Evaluation (SSTF); the analysis center (AC) of SSTF; and the data collection and preliminary processing center for all measurement data from the Rosstandart’s network. The methods and facilities used by the MMC SSTF are considered in this paper.

**Keywords:** Earth orientation parameters, UT1-UTC, combination, EOP service, VLBI, GNSS, SLR.