

## Совершенствование средств обработки данных измерений лазерной дальнометрии ИСЗ и Луны в ГМЦ ГСВЧ

© Е. Н. Цыба, Н. А. Вострухов

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

В последние годы активно совершенствуются технические средства квантово-оптических наблюдений Луны и искусственных спутников Земли (разрабатываются новые спутники и высокоточные измерительные квантово-оптические системы). Это, в свою очередь, ведёт к необходимости постоянного совершенствования технических средств, методов и алгоритмов обработки получаемой измерительной информации [1].

Главный метрологический центр Государственной службы времени, частоты и параметров вращения Земли (ГМЦ ГСВЧ) участвует в ряде научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на совершенствование средств обработки и анализа данных лазерных измерений ИСЗ и Луны.

В 2016 году в ГМЦ ГСВЧ завершена модернизация программного комплекса определения параметров вращения Земли по лазерным измерениям, выполнена разработка новых программных средств в части калибровки орбит высокоорбитальных и низкоорбитальных спутников с использованием данных спутниковой лазерной дальнометрии (СЛД) [1], высокоточного определения координат станций наблюдения. Близится к завершению создание программно-аппаратного средства определения всемирного времени по наблюдениям Луны.

**Ключевые слова:** параметры вращения Земли (ПВЗ), служба ПВЗ, спутниковая лазерная дальнометрия, Международная служба лазерной локации (ILRS), лазерная локация Луны, ГМЦ ГСВЧ.

### Введение

Лазерная локация Луны и ИСЗ — один из основных методов изучения вращения Земли. В настоящей работе проведен сравнительный анализ результатов эксплуатации и испытаний разработанных программно-аппаратных средств. Показано, что точность полученных результатов соответствует точности лучших международных определений, что свидетельствует о высоком научно-техническом уровне выполненных работ.

## Назначение и структура программ

Модернизированная программа обработки измерительной информации СЛД предназначена для решения четырех основных задач:

- прогнозирование ПВЗ;
- прогнозирование орбит ИСЗ (Lageos 1 и Lageos 2);
- определение ПВЗ ( $X_p, Y_p$ );
- формирование SINEX-файлов.

Структурно программа состоит из шести блоков:

- 1) сбор и подготовка файлов, необходимых для корректной работы, тестирование входных данных, формирование результирующих файлов;
- 2) обработка наблюдений одной или нескольких орбитальных дуг;
- 3) формирование и решение матриц условных уравнений;
- 4) прогнозирование орбит;
- 5) прогнозирование ПВЗ;
- 6) формирование SINEX-файлов.

В рамках составной части (СЧ) опытно-конструкторской работы (ОКР) «Эфемериды» в 2017 году в ГМЦ ГСВЧ ФГУП «ВНИИФТРИ» завершается разработка программно-аппаратных средств определения всемирного времени по результатам лазерной локации Луны (ПАС ВВ).

ПАС ВВ включает в себя три основных программных блока:

- 1) сбор и подготовка необходимых для работы файлов, тестирование входных данных, формирование результирующих файлов;
- 2) обработка наблюдений на двухнедельном/месячном интервале;
- 3) формирование и решение матриц условных уравнений.

## Обработка лазерных наблюдений ИСЗ Lageos 1 и Lageos 2

С помощью модернизированного программного комплекса были обработаны лазерные наблюдения 38 станций двух геодинимических спутников Lageos 1 и Lageos 2. На 7-суточных дугах уточнялись начальные параметры орбит и параметры вращения Земли [1, 2]. Сравнение вычисленных значений ПВЗ с данными IERS C04 показало, что среднеквадратические отклонения (СКО) вычисленных координат полюса  $X_p$  и  $Y_p$  от данных Международной службы вращения Земли и систем координат (IERS) составляют 0.10 mas и 0.11 mas соответственно. Отклонения полученных координат полюса от данных IERS C04 (по всем основным методам определения ПВЗ) за 2016 год для всех Центров обработки и анализа данных приведены в таблице. Средние квадратические погрешности определения ПВЗ для центров обработки и анализа данных (ЦОАД) ИАЦ КВНО и ИПА РАН (представленные в таблице) получены на основе данных, ежедневно предоставляемых этими организациями в ЦОАД ГМЦ ГСВЧ, путем их сравнения с данными IERS EOP C04.

Таблица

Точность определения ПВЗ в 2016 г. средствами ГСВЧ

Используемые средства	Ср. кв. погрешности			Систематические погрешности		
	UT1	$X_p$	$Y_p$	UT1	$X_p$	$Y_p$
	(мс)	(0.001")		(мс)	(0.001")	
Лазерная локация ИСЗ						
ИПА, внешняя оценка	0.035	0.20	0.19	0.000	+0.04	-0.05
ИАЦ, внешняя оценка	—	0.16	0.15	—	-0.25	+0.08
ГМЦ, внешняя оценка	—	0.10	0.11	—	+0.03	+0.06

### Обработка лазерных наблюдений Луны

В тестовом режиме выполнено определение разностей  $O-C$  (*one-way*) по измерительной информации с наблюдательной станции GRSM (углоковый отражатель Apollo15, 2015 год). Результаты определения показаны на рис. 1.



Рис. 1. Результаты определения  $O-C$  по измерительной информации наблюдательной станции GRSM (углоковый отражатель Apollo15, 2015 год)

### Заключение

Программы, разработанные в ГМЦ ГСВЧ, позволяют решать широкий круг задач по обработке квантово-оптических наблюдений ИСЗ и Луны. Результаты вычислений ПВЗ в 2016 году показали, что определяемые ПВЗ (по данным ИСЗ) имеют точность на современном уровне, СКО всемирного времени по данным лазерной локации Луны не хуже 60 мкс (в сравнении с данными IERS EOP C04).

## Литература

1. Цыба Е. Н. Вычисление параметров вращения Земли по результатам спутниковой лазерной дальнометрии международной сети ILRS // Труды ИПА РАН. — СПб.: ИПА РАН, 2016. — Вып. 38. — С. 66—70.

2. Цыба Е. Н. Вычисление параметров вращения Земли в ГМЦ ГСВЧ по данным спутниковой лазерной дальнометрии // Сборник трудов: «Метрология в XXI веке. Научно-техническая конференция молодых ученых, аспирантов и специалистов» — Менделеево, 20 марта 2014 г. — С. 87.

## Improvements in the MMC SSTF Tools to Analyze the LLR and SLR Observations

E. N. Tsyba, N. A. Vostruhov

The LLR and SLR technologies have been actively developed in recent years. New satellites and very precise measurement systems are appearing currently. This brings the necessity to improve continually the facilities, methods and algorithms which analyze the measurement data obtained [1, 2].

The Main Metrological Center of the State Service of Time and Frequency (MMC SSTF) participates in the scientific and development work to improve the systems for analyzing and evaluating the LLR and SLR data.

In 2016, the MMC SSTF upgraded its software for determination of the Earth rotation parameters using the LLR and SLR measurements. New software was developed for the high-orbital and low-orbital satellite orbit calibration using the SLR data and for the very precise positioning of the observational stations. The software for determination of the Universal time based on the LLR observations is nearing its completion.

A comparative analysis of the maintenance and test data of the developed software and hardware is presented in this article. It is shown that the accuracy of the results obtained matches the best international standards. It is the evidence of the high scientific and technical level of our work.

**Keywords:** Earth's rotation parameters, Earth Rotation Service, satellite laser ranging, International Laser Ranging Service (ILRS), Lunar laser ranging, MMC SSTF.