



ISSN 1607–2855

Том 4 · № 2 · 2003 С. 23–27

УДК 629.78; 521.3

## Аналіз якості перших спостережень, проведених на пункті “Lviv” в міжнародній мережі ILRS

А.І. Білінський, Я.Т. Благодир, О.О. Логвиненко

Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка

*Проведено аналіз даних лазерно-локаційних спостережень ШНТ, отриманих після обробки в міжнародних центрах. Це дало можливість виробити ряд критеріїв для контролю якості по точності окремого виміру, систематичних та випадкових похибок вимірювання часу та віддалі. Крім того, такий аналіз дає можливість виявити та усунути недоліки у проведенні спостережень як апаратного характеру, так і програмного забезпечення.*

*АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПЕРВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ НА ПУНКТЕ “LVIV” В МЕЖДУНАРОДНОЙ СЕТИ ILRS, Билинский А.И., Благодир Я.Т., Логвиненко А.А. — Проведен анализ данных лазерно-локационных наблюдений ИНТ, полученных после обработки в международных центрах. Это дало возможность выработать ряд критериев контроля качества по точности отдельного измерения, систематических и случайных погрешностей измерения времени и расстояния. Кроме того, такой анализ дает возможность обнаружить и устранить недостатки в проведении наблюдений как аппаратного характера, так и программного обеспечения.*

*QUALITY CONTROL OF FIRST OBSERVATIONS CARRIED OUT ON THE “LVIV” OBSERVATION POINT IN THE INTERNATIONAL NET “ILRS”, by Bilinskiy A.I., Blagodir Ya.T., Logvinenko A.A. — Analysis of laser location observations obtained after processing in international centers are performed that allowed to elaborate a number of criteria of quality control by the precision of an individual measurement, systematic and accidental inaccuracies in time and range measuring. Such analysis allows to reveal and eliminate hardware and software defects in observations.*

### 1. ВСТУП

Львівський пункт лазерної локації штучних небесних тіл (ШНТ) був введений в дію у 1998 році. До середини 2002 року нами проводилися експериментальні спостереження з метою відладки апаратури та методики проведення спостережень [1].

В середині 2002 року наш пункт зареєстрований в міжнародній мережі ILRS (International Laser Ranging Service). Пункт отримав міжнародні номери CDP 18318501, DOMES 12368S001. За півроку нами надіслано до банку даних EDC (Eurolas data center) понад 70 результатів спостережень низькоорбітальних супутників та супутників Lageos-1,2 [2, 3]. Після обробки наших спостережень супутників Lageos-1,2 в одному з центрів обробки [4] отримано оцінку координат нашого пункту. Точність отриманих координат була в межах похибок результатів наших спостережень. Надалі, по результатах регулярних спостережень Lageos-1,2 координати пункту будуть постійно уточнюватись. Більше того, для отримання статусу “експлуатаційний пункт” в мережі ILRS, згідно з новими вимогами, необхідно за рік проводити 1000 проходжень низькоорбітальних ШНТ та 400 проходжень Lageos-1,2. По точності результати мають бути не гірше 10 см, систематична похибка по реєстрації часу та віддалі до ШНТ  $\pm 50$  мкс та  $\pm 60$  мм відповідно. Такі показники можна забезпечити лише при постійному контролі результатів лазерної локації.

## 2. ОБРОБКА СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Кожен пункт лазерних спостережень ШНТ можна розділити на декілька підсистем апаратурного та програмного типу: лазерний передавач, гідуювання, реєстрація, служба точного часу. Завершальним етапом проведення спостережень є обробка результатів лазерної віддалеметрії. Для отримання хороших результатів необхідно проводити контроль кожної з них. Будь-які негативні зміни в роботі цих підсистем відображаються на кінцевих результатах лазерної локації даним пунктом. Остання з них — обробка є завершальним етапом проведення лазерних віддалемірних спостережень, коли зміни в інших системах не можуть скоректувати результатів. Тому вона мусить проводитися якнайретельніше з врахування характеристик пункту в цілому. Наше програмне забезпечення для обробки дозволяє проводити автоматичну обробку — методом  $2.5\sigma$  ітерації або вручну — коли можна контролювати кожну локаційну точку, розподіл локаційних точок, формування нормальних точок.

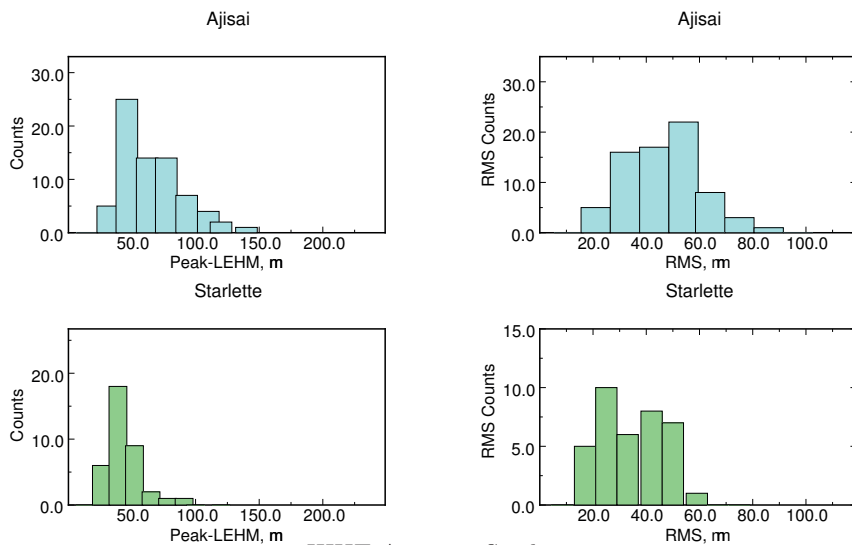


Рис. 1. Розподіл кількості спостережень ШНТ Ajisai та Starlette в залежності від величин “Peak-LEHM” та RMS.

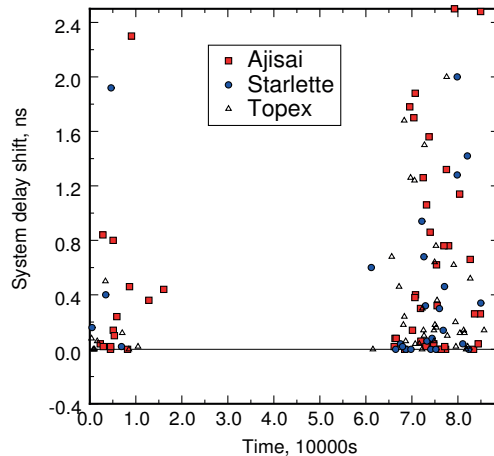


Рис. 2. Залежність різниці між пре- та пост-калібровкою від години спостереження.

## 2.1. Статистика результатів лазерної віддалеметрії

За останні два роки було набрано достатньо даних спостережень для проведення їх статистичного аналізу. Зокрема, маючи результати аналізу по розподілу даних для нашої системи в залежності від типу ШНТ, можна провести межі в яких мають знаходитися результати локації. Дані, що знаходяться за критичною межею необхідно додатково досліджувати [5].

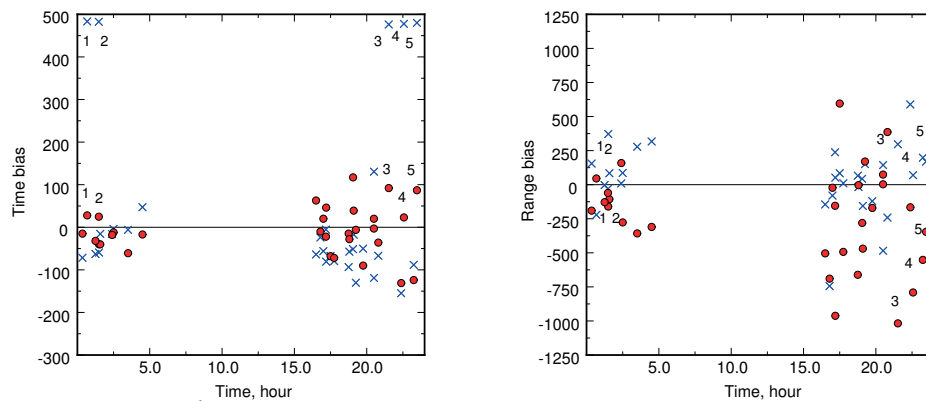
Однією з таких характеристик є величина “Peak-LENM (Leading Edge Half Maximum)” — різниця між значенням піку розподілу залишкових віддалей та переднім краєм розподілу на висоті його півмаксимуму. Значення піку та переднього краю були розраховані використовуючи підпрограму DISTRIB [6]. Для кожного ШНТ цей розподіл має свій характерний вигляд. Типові гістограми для ШНТ Ajisai та Starlette приведені на рис. 1. Аналогічними характеристиками служить розподіл точності лазерних спостережень (рис. 1).

Результати майже всіх спостережень від початку поточного року для цих ШНТ лежать в межах відповідних розподілів, що свідчить про хорошу статистику даних після попередньої обробки на пункті.

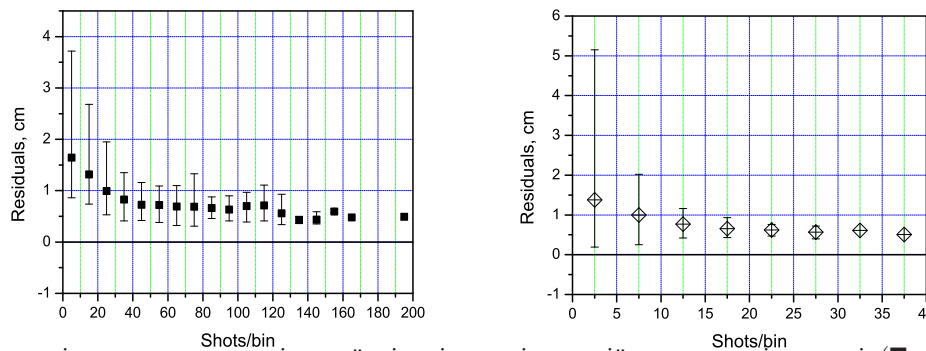
## 2.2. Стабільність результатів

Для більш ґрунтовного дослідження стабільності результатів існує ряд величин, отриманих після обробки даних лазерної віддалеметрії. Зокрема це є системна затримка, систематичні похибки реєстрації всесвітнього часу та вимірної віддалі до супутника.

**Системна затримка.** Однією з таких величин є системна затримка — час проходження еле-



**Рис. 3.** Систематичні похибки результатів лазерних віддалемірних спостережень на станції “Львів” за 2003 р. (× — реальні систематичні похибки (tb-мкс, rb-мм); о — теоретичні систематичні похибки (tb-0.1 мс, rb-см))



**Рис. 4.** Залежність залишкових віддалей від кількості локацій в одному інтервалі (■ — Ajisai, ◇ - Lageos-1,2).

ктричного сигналу від ФЕП до лічильника (таймера подій або вимірювача часових інтервалів). Вона визначається методом локації наземної мішені з подальшим відніманням віддалі від телескопу до самої мішені.

Величина системної затримки чутлива до роботи реєструючої старт-стопової електронної частини станції та до роботи лазера. Локація мішені проводиться перед та після кожного спостереження. Після обробки отримуємо ряд величин, які характеризують стан систем: середнє значення системної затримки, дрейф затримки продовж спостереження, точність локації мішені. Вони відображають стабільність роботи вищезгаданих систем під-час локації ШНТ.

На початку роботи в мережі ILRS дрейф системної затримки був досить великим — порядку наносекунди. Проте, на даний час він є практично нульовим (менше 50 пікосекунд), що підтверджує стабільність роботи електронної апаратури станції (рис. 2).

**Систематичні похибки.** Іншими величинами, що характеризують роботу станції є систематичні похибки реєстрації всесвітнього часу та вимірюної віддалі до супутника. На пункті ми можемо визначити систематичні похибки наших результатів відносно теоретичної ефемериди орбітального руху ШНТ. З другого боку в міжнародних центрах обробки беруться до уваги дані багатьох станцій і визначаються похибки відносно реальної траєкторії ШНТ [4].

Як видно з рис. 3, систематична теоретична похибка часу є порядку кількох мілісекунд, а віддалі — кількох метрів. В той же час реальні похибки є на декілька порядків менші і, таким чином, більш чутливі до збоїв у роботі станції.

Для ілюстрації чутливості теоретичних та реальних систематичних похибок приведемо дві подібні ситуації, пов'язаних із похибкою у прив'язці епохи до всесвітнього часу. У першому випадку годинник на 1 с відставав від UTC. Після попередньої обробки ми отримали значення теоретичної систематичної похибки часу порядку 1 с. Таким чином була можливість відфільтрувати хибні результати та скорегувати їх на цю 1 с. Інша ситуація була, коли похибка прив'язки епохи становила лише 5 мс. При попередній обробці ми нічого не зауважили, оскільки теоретична похибка є такого ж порядку. При обробці у відповідному центрі [4], було виявлено реальну систематичну похибку порядку 5 мс. Відповідні дані на рис. 3 позначені цифрами 1,2,3,4,5. Після того вихідні дані були нами поправлені на цю величину та перевислані у банк даних.

На рис. 4 зображено залежність залишкових віддалей після попередньої обробки від кількості локацій в одному інтервалі. Для ШНТ Ajisai часовий інтервал складає 30 с, а для Lageos-1,2 — 120 с. Оскільки кількість локацій протягом інтервалу усереднення сильно залежить від середньої амплітуди сигналу, то можна вважати що такі профілі покажуть систематичну похибку вимірювання віддалі в залежності від енергії відбитого сигналу [7]. З рис. 4 видно, що і для Ajisai, і для Lageos-1,2 систематична похибка у вимірюванні віддалі майже не залежить від амплітуди відбитого сигналу, лише для малих амплітуд спостерігається зростання залишкових віддалей. Це може свідчити про те, що наш дискримінатор працює в області амплітуд сигналів близькій до нижньої границі лінійності — тобто виставлено великий поріг дискримінації.

Крім того з рис. 4, 5 можна бачити деяку постійну додатну систематичну похибку по віддалі. Причини її наявності поки що не виявлені. Проте, враховуючи що вона достатньо мала, її вплив на результати локації буде невеликий. До того ж важливіше щоби значення цієї похибки (як і систематичної похибки епохи) було постійне, що свідчитиме про стабільність роботи пункту.

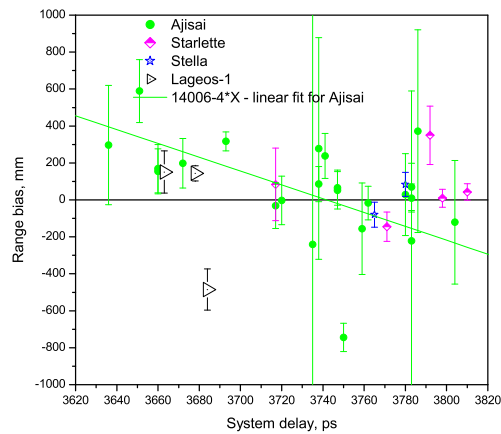


Рис. 5. Залежність реальної систематичної похибки віддалі від системної затримки

### 3. ПІДСУМКИ

Робота пункту лазерної віддалеметрії “Львів” в мережі ILRS показала, що детальний контроль отриманих результатів дає можливість забезпечити задовільну роботу станції, використавши дані обробки спостережень у відповідних світових центрах (напр. [4]). Більш детальну, а в деяких випадках і єдину, можливість проведення аналізу якості роботи всіх систем пункту дає новий сервіс введений ILRS весною 2003 року. Це так звана концепція “MyStationPerformance.Com” [8]. В базі даних збирається вся інформація по станції, яка згодом автоматично представляється в графічному вигляді, і є доступною через Інтернет.

1. Биллинкий А.И., Благодар Я.Т., Вовчик Е.Б., Логвиненко А.А. Комплексные наблюдения ИСЗ во Львове // Сб. трудов конференции “Околосемная астрономия XXI века”. — Москва: ГЕОС. — 2001. — С. 56–60.
2. SLR Global Performance Report Card — III.2002  
[http://gsfc.nasa.gov/stations/performance\\_statistics/perf\\_2002q3.html](http://gsfc.nasa.gov/stations/performance_statistics/perf_2002q3.html)
3. SLR Global Performance Report Card — I.2003  
[http://ilrs.gsfc.nasa.gov/stations/performance\\_statistics/perf\\_2003q1.html](http://ilrs.gsfc.nasa.gov/stations/performance_statistics/perf_2003q1.html)
4. CRL Laser Ranging Home Page. — <http://www2.crl.go.jp/hk/slr>
5. Gibbs P., et al. An overview of quality control at Hersmonceux // Proceedings of the 12th Laser Ranging Workshop. — Matera, 2000.
6. Sinclair A.T. Survey of SLR data pre-processing by single-photon stations, SLRMail 0008 and 0014, 1996  
<ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/pub/reports/slrmail/>
7. Otsubo T., Takako G. A new approach to quality check - range bias vs applied system delay // Proceedings of the 13th Laser Ranging Workshop. — Washington, 2002.
8. Husson V., et al. MyStationPerformance.com // Proceedings of the 13th Laser Ranging Workshop. — Washington, 2002.

Надійшла до редакції 6.06.2003