

УДК 520.25

ПЯТИЛЕТИЕ НАБЛЮДЕНИЙ КА «СПЕКТР-Р» В КУБАНСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Иванов А. Л., Иванов В. А., Лысенко В. Е., Иванова Н. В., Яковенко Н. А.,
Молотов И. Е., Воропаев В. А., Захваткин М. В.

FIVE YEARS OF OBSERVATIONS OF THE SPACECRAFT “SPEKTR-R” IN KUBAN STATE UNIVERSITY

Ivanov A. L. *, Ivanov V. A. *, Lysenko V. E. *, Ivanova N. V. **, Yakovenko N. A. *,
Molotov I. E. ***, Voropayev V. A. ***, Zakhvatkin M. V. ***

* Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia

** National Astronomical Agency Ltd., Krasnodar, 350040, Russia

*** Keldysh Institute of Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 125047,
Russia

e-mail: ial63@yandex.ru

Abstract. In January 2012 the Observatory of Kuban State University was invited to participate in the international project Radioastron, with the aim of achieving a coordinate-time information about the spacecraft “SPEKTR-R” for transmission later to the ballistic center of Keldysh Institute of Applied Mathematics.

Angular astrometric measurements are an important addition to the navigation data of the spacecraft “SPEKTR-R”, allowing to improve the accuracy of spatial-temporal reference of data of the scientific experiments carried out by the space Observatory. Measurements obtained in the optical astrophysical observatory of the Kuban State University demonstrate high accuracy, the noise components of the errors are less than 0.5 arc-seconds.

During 5 years the astrophysical Observatory of the Kuban state University conducted 369 sessions of observation of the spacecraft “SPEKTR-R”, in which it was received 10285 measurements of the angular position of the spacecraft on the celestial sphere. The total time of observation amounted more than 440 hours, which is an absolute record among all the optical observations of the spacecraft “SPEKTR-R” in the world.

Keywords: astrometric observations of spacecraft, residuals of angular measurement, method of positional observations in astronomy.

В январе 2012 г. обсерватории КубГУ в дальнейшем в баллистический центр ИПМ было предложено участие в международном проекте Радиоастрон с целью получения информации по космическому аппарату «Спектр-Р» (в дальнейшем КА или КА «Спектр-Р») для ее передачи им. М.В. Келдыша [1].

Учитывая неравномерное движение космического аппарата, связанное с вытянутой орбитой и максимальным удалением от Земли на расстояние более 340000 км, потребовалось

Иванов Александр Леонидович, инженер кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: ial63@yandex.ru.

Иванов Виктор Александрович, преподаватель кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: ial63@yandex.ru.

Лысенко Вадим Евгеньевич, преподаватель кафедры оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: lysenko-work-4@yandex.ru.

Иванова Наталья Викторовна, директор обсерватории D04 ООО «Национальное астрономическое агентство»; e-mail: natalja.naa@yandex.ru.

Яковенко Николай Андреевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой оптоэлектроники Кубанского государственного университета; e-mail: dean@phys.kubsu.ru

Молотов Игорь Евгеньевич, старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: im62@mail.ru.

Воропаев Виктор Анатольевич, ведущий инженер Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: voropayev@keldysh.ru.

Захваткин Михаил Витальевич, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: zmaxus@gmail.com.

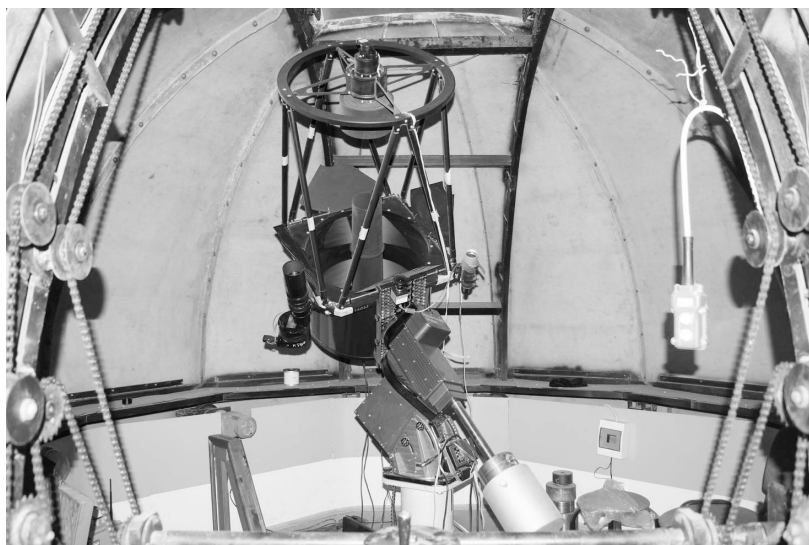


Рис. 1. Внешний вид телескопа Астросиб на экваториальной монтировке PARAMOUNT ME, установленной на крыше здания главного корпуса КубГУ

разработать методику, которая позволила бы наблюдать КА «Спектр-Р» во всех участках траектории движения. Основной сложностью в работе стала закрытость протокола у монтировки PARAMOUNT ME, который не позволял использовать стандартный программный пакет сети ИСОН [2].

Опытным путем удалось определить необходимые параметры съемки КА и его сопровождения. Метод наблюдения был выбран классический — со звездным ведением. Не смотря на простоту выбора, потребовалось учитывать различные угловые скорости движения аппарата и возможности ПЗС-приемника. В различных участках траектории были подобраны необходимые экспозиции, которые варьировались от 0,25 с до 30 с. Кроме этого, пришлось слабый сигнал от объекта компенсировать сокращением экспозиции и увеличением бининга для каждой проводки. Для таких целей лучше всего подошла камера FLI ML1001E, с большим пикселем 24 микрона, линейный размер чипа 24×24 мм. Камера FLI PL16803, которая использовалась ранее в экспериментах, при коротких экспозициях показала меньшую квантовую эффективность.

Для наблюдений применялся телескоп «АСТРОСИБ 510РК», оптическая схема Ричи-Кретъен, диаметр 510 мм, фокусное расстояние 4000 мм. Для увеличения поля зрения и повышения общей светосилы применялся редуктор фокуса 1/6,3.

Была выработана схема проводки «прыжков лягушки», по команде телескоп выходил к точке прохождения КА «Спектр-Р» и находится в ожидании. После входа в сектор видимости — в поле зрения матрицы — производится серия снимков от 10 до 20. Далее с учетом состояния атмосферы (погодные условия: тучи, дымка) устанавливается интервал от 10 до 30 мин. То есть телескоп переходит на следующую точку прохождения через 10–30 мин.

Для автоматизации процесса нами была написана программа “SatTrack”, которая ЦУ, приходящие из баллистического центра ИПМ им. М. В. Келдыша, перекодирует для внесения в свои протоколы. Программа соединяется со всеми устройствами комплекса (служба времени [3], монтировка, камера) через ASCOM в автоматическом режиме, производя подключение к необходимому софту, запуску необходимых процедур — охлаждение камеры, проверка парковочного режима и т.д.

Как только завершены все необходимые процедуры подготовки, появляется окно готовности стартовать в автоматическом режиме. После старта телескоп наводится на первую точку, происходит расчет положения в программе PinPoint, телескоп корректирует ошибку, становясь точно на указанные ЦУ, и находится в режиме ожидания. Далее производится съемка и переход на новую точку.

Программа так же автоматически создает папку с именем текущего года, в ней папка с

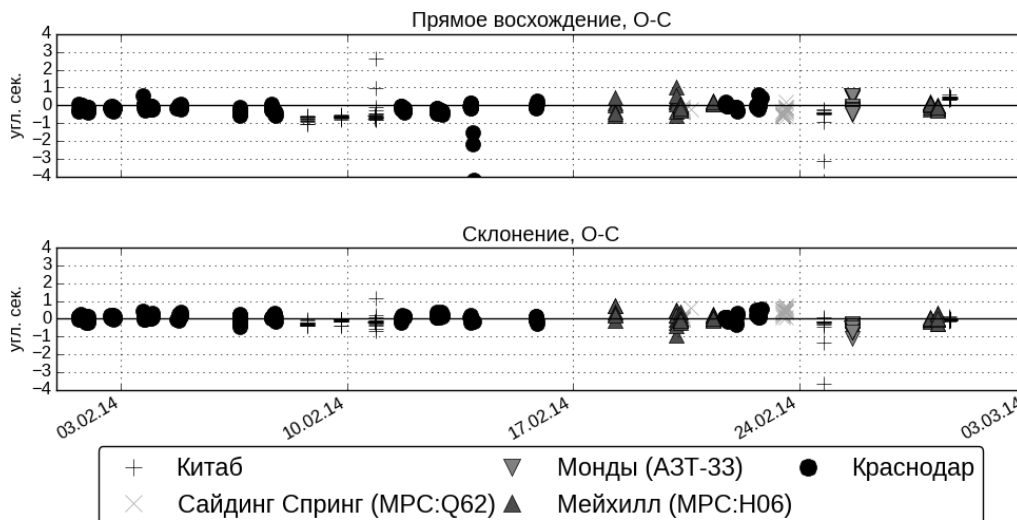


Рис. 2. Общие невязки измерений, полученных на наблюдательных средствах сети ИСОН

именем текущего месяца, в ней папка с именем текущей даты, и название объекта, так же прописывает в название файла все вышеперечисленные параметры и дополнительно время. Возможны изменения в имени — по желанию можно менять форму наименования файла.

Обработка наблюдений КА «Спектр-Р» проводится в программе Izmccd [5, 6]. На взгляд авторов это наиболее удачный астрометрический продукт, который обеспечивает точность измерений необходимую для данной задачи.

За 5 лет астрофизической обсерваторией Кубанского государственного университета было проведено 369 наблюдательных сессий КА «Спектр-Р», в ходе которых было получено 10 285 измерений углового положения КА на небесной сфере. Совокупное время наблюдений составило более 440 ч., что является абсолютным рекордом среди всех оптических наблюдений КА «Спектр-Р» в мире.

Угловые астрометрические измерения являются важным дополнением к навигационной информации КА «Спектр-Р», позволяющим повысить точность пространственно-временной привязки данных научных экспериментов, осуществляемых космической обсерваторией. Измерения, полученные в астрофизической оптической обсерватории КубГУ, демонстрируют высокую точность, шумовые составляющие ошибок не превышают 0,5 угловой секунды. Результат характеристик невязок угловых измерений КА «Спектр-Р», полу-

ченных в КубГУ по данным баллистического центра ИПМ им. М.В. Келдыша:

a — среднее отклонение проводки вдоль трека 0,12 угл. сек;

σ_a — шумовая составляющая ошибки вдоль трека 0,15 угл. сек;

c — среднее отклонение проводки поперек трека 0,2 угл. сек;

σ_c — шумовая составляющая ошибки поперек трека 0,11 угл. сек;

Результаты наблюдений (в частности [7] и другие электронные циркуляры) и длительность проводок КА Спектр-Р позволил обсерватории КубГУ занять передовое место в мире, среди наблюдателей по числу, общему времени наблюдений и точности измерений.

Авторы считают, что данный комплекс, обладая высокими точностными характеристиками, может применяться и для других целевых задач спутниковых наблюдений. Метод наблюдения, со звездным ведением примененный в Краснодаре была использован по нашей рекомендации в Львовской обсерватории.

Литература

1. Молотов И.Е., Агапов В.М., Куприянов В.В. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. 2009. № 219. Вып. 1. С. 233–248.
2. Иванов А.Л., Иванов В.А., Лысенко В.Е., Степаньянц В.А., Захваткин М.В. Результаты наблюдений КА «Спектр-Р» в астрофизической оптической обсерватории Кубанского государ-

- ственного университета // Международный научный журнал Экологический вестник научных центров экологического сотрудничества. 2013. Т. 3. № 4. С. 76–79.
3. Русаков О.П., Куприянов В.В. Устройство для синхронизации наблюдений со службой точного времени GPS на базе модуля “Trimble Resolution T” // Радиотехнические тетради. 2008. № 36. С. 25.
 4. Куприянов В.В. Астрометрическая редукция ПЗС-обзоров области ГСО в системе APEX II // Радиотехнические тетради. 2008. № 36. С. 34–35.
 5. Izmailov I.S., Khovricheva M.L., Khovrichev M.Yu. et al. Astrometric CCD observations of visual double stars at the Pulkovo Observatory // *Astronomy Letters*. 2010. Vol. 36. Iss. 5. P. 349–354.
 6. Программа izmccd. Режим доступа: <http://izmccd.puldb.ru> (дата доступа 17.11.2017)
 7. Williams G.V. (ed.) DASO Circular No. 555. Issued: 2017 May 5, 14:58 UT. Режим доступа: https://minorplanetcenter.net/iau/DASO/000000/DASO_000555.txt (дата доступа 17.11.2017).
- ### References
1. Molotov I.E., Agapov V.M., Kupriyanov V.V. Nauchnaya set opticheskikh instrumentov dlya astrometricheskikh i fotometricheskikh nablyudeniy [The scientific network of optical instruments for astrometric and photometric observations]. *Izvestiya Glavnoy astronomicheskoy observatorii v Pulkove* [News of Main astronomical Observatory at Pulkovo] 2009, no. 219, iss. 1, pp. 233–248. (In Russian)
 2. Ivanov A.L., Ivanov V.A., Lysenko V.E., Stepanyants V.A., Zahvatkin M.V. Rezultaty nablyudeniy KA “Spektr-R” v astrofizicheskoy opticheskoy observatorii Kubanskogo gosudarstvennogo universiteta [The results of observations of the SPACECRAFT “Spectr-R” astrophysical optical Observatory of the Kuban state University]. *Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal Ekologicheskiiy vestnik nauchnyh tse ntrov ekologicheskogo sotrudnichestva* [International scientific journal Ecological Bulletin of scientific centers for environmental cooperation] 2013, vol. 3, no. 4, pp. 76–79. (In Russian)
 3. Rusakov O. P., Kupriyanov V.V. Ustroystvo dlya sinhronizatsii nabludeniy so sluzhboy tochnogo vremeni GPS na baze modulya “Trimble Resolution T” [Device to synchronize the observations with the exact time service GPS based on module “Trimble Resolution T”]. *Radiotekhnicheskie tetradi* [Electronic notebook] 2008, no. 36, pp. 25. (In Russian)
 4. Kupriyanov V.V. Astrometricheskaya reduktsiya PZS-obzorov oblasti GSO v sisteme APEX II [Astrometric reduction of the CCD-related GSO region in the system of APEX II]. *Radiotekhnicheskie tetradi* [Electronic notebook] 2008, no. 36, pp. 34–35. (In Russian)
 5. Izmailov I.S., Khovricheva M.L., Khovrichev M.Yu. et al. Astrometric CCD observations of visual double stars at the Pulkovo Observatory. *Astronomy Letters*, 2010, vol. 36, iss. 5, pp. 349–354 <http://izmccd.puldb.ru/>
 6. izmccd application. Available at: <http://izmccd.puldb.ru> (accessed date 17.11.2017).
 7. Williams G.V. (ed.) DASO Circular No. 555. Issued: 2017 May 5, 14:58 UT. Available at: https://minorplanetcenter.net/iau/DASO/000000/DASO_000555.txt (accessed date 17.11.2017).