

Адаптация телескопа-дальномера ТПЛ-1 для фотометрических наблюдений искусственных спутников Земли

Р.В. Эссельбах, С.А. Горельников, К.Г. Фролков, Д.П. Дзюба

Донбасский государственный технический университет

Аннотация: В статье представлен метод адаптации телескопа-дальномера ТПЛ-1 для проведения фотометрических наблюдений искусственных спутников Земли (ИСЗ). Вместо штатной оптической системы использована комбинация камеры ZWO ASI294MM Pro и объектива "Юпитер-21М", установленных на монтировку телескопа. Разработано специальное крепление, обеспечивающее точную фокусировку, юстировку и стабильность системы. Метод сочетает доступность любительского оборудования с научной значимостью данных, открывая перспективы для образовательных проектов, мониторинга космического мусора и исследований динамики ИСЗ. Перспективы работы включают автоматизацию наблюдений и расширение списка наблюдаемых объектов.

Ключевые слова: фотометрия, искусственные спутники Земли, ТПЛ-1, адаптация оборудования, кривые блеска, мониторинг космических объектов.

Наблюдения искусственных спутников Земли (ИСЗ) с целью получения их фотометрических характеристик представляют значительный научный и прикладной интерес. Спутниковая фотометрия позволяет изучать динамику изменения блеска объектов, определять их ориентацию в пространстве, выявлять особенности конструкции, обнаруживать неисправности аппаратов [1, 2]. Однако проведение подобных наблюдений традиционно требует специализированного и дорогостоящего оборудования, что ограничивает их доступность для многих исследовательских групп и любителей астрономии [3].

В данной работе рассматривается альтернативный подход, основанный на адаптации существующей оптико-механической системы телескопа-дальномера ТПЛ-1 [4] для решения задач спутниковой фотометрии. Особенностью предлагаемого метода является использование не штатной оптической системы ТПЛ-1, а дополнительно установленной на его монтировку высокочувствительной камеры ZWO с объективом "Юпитер-21М". Такое решение позволяет сохранить возможность точного

сопровождения цели, обеспечиваемую системой ТПЛ-1, при этом получая качественные фотометрические данные через независимый оптический канал [5].

- Основными преимуществами разработанной системы являются:
- Использование надежной и отработанной системы сопровождения ТПЛ-1
- Возможность применения современной ПЗС-матрицы для регистрации изображений
- Сохранение мобильности и относительной простоты всей установки
- Значительно меньшая стоимость по сравнению с профессиональными астрономическими системами

Для надежной системы крепления дополнительной фотометрической камеры к телескопу ТПЛ-1 [6], не нарушающей его штатную работу, была разработана конструкция (рис. 1), обеспечивающая точную фокусировку, жесткое крепление и возможность юстировки оптических осей [7].



Рис. 1. – Конструкция дополнительного оптического канала в сборе.

Специально изготовленный переходник представляет собой конструкцию с прецизионной резьбой, позволяющей плавно перемещать объектив "Юпитер-21М" относительно камеры ZWO для точной

фокусировки (рис. 2). Особое внимание было уделено подавлению паразитных засветок.

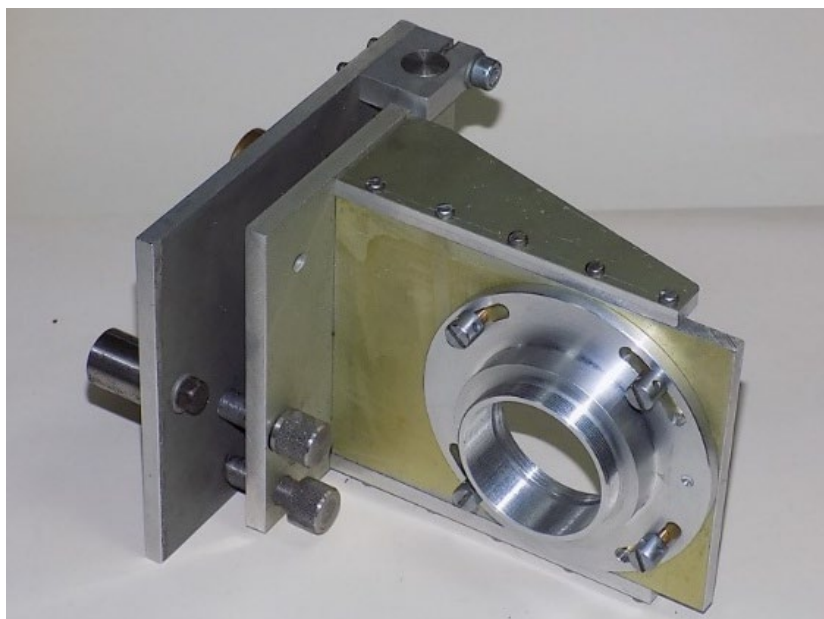


Рис. 2. – Приспособление для фиксации камеры

Конструкция крепится к верхней части корпуса ТПЛ-1 через штатные точки крепления, используя демпфирующие прокладки для уменьшения вибраций, такое решение не мешает работе основной оптической системы телескопа, сохраняя при этом возможность быстрого монтажа и демонтажа фотометрического модуля. Камера ASI294MM Pro с её компактными размерами (62×62×47.3 мм) и весом всего 190 г идеально подошла для этой цели, не перегружая конструкцию. Важной особенностью системы является наличие регулировочных винтов, позволяющих точно совмещать оптическую ось камеры с осью телескопа. При использовании объектива "Юпитер-21М" (фокусное расстояние 200 мм) система обеспечивает поле зрения $4.1^{\circ} \times 2.8^{\circ}$ с масштабом изображения 9.27 угловых секунд на пиксель, что оптимально для наблюдений ярких ИСЗ. Процедура юстировки, выполняемая по ярким звездам, обеспечивает высокую точность совмещения осей, что подтверждено контрольными измерениями на тестовых ИСЗ.

Фотометрический канал системы демонстрирует отличные характеристики благодаря возможностям камеры ASI294MM Pro: 14-битный АЦП, широкий динамический диапазон (13.8 ступеней), и возможность охлаждения матрицы ниже температуры окружающей среды. Штатный механизм сопровождения ТПЛ-1 обеспечивает точное наведение системы, в то время как камера подключена к отдельному ноутбуку с программным обеспечением для записи видео с временной привязкой кадров через интерфейс USB 3.0 (максимальная скорость передачи данных 3.2 Гбит/с). Система продемонстрировала отличную стабильность юстировки в ходе наблюдательных сессий продолжительностью 4-6 часов в широком диапазоне рабочих температур.

Проведённые наблюдения с модернизированной системой на базе ТПЛ-1 позволили получить ценные фотометрические данные для нескольких искусственных спутников Земли. Представлены результаты наблюдений за спутником ERS-2 (NORAD 23560), а также аппаратами MIDORI-II (ADEOS-II) и ALOS (DAICHI) [8].

Для каждого спутника было выполнено несколько серий измерений с последующей обработкой и анализом полученных кривых блеска [9].

Кривая блеска спутника ERS-2 (NORAD 23560), представленная на рис. 3, демонстрирует характерные особенности этого европейского спутника дистанционного зондирования. Чётко прослеживаются периодические колебания блеска с амплитудой около 1,2 звёздной величины и периодом примерно 15 секунд. Форма кривой указывает на сложный характер отражения света от различных элементов конструкции спутника, включая солнечные панели и корпус аппарата. Особенно интересно наблюдение резких всплесков яркости, вероятно связанных с отражением от плоских поверхностей антенн или других элементов конструкции.

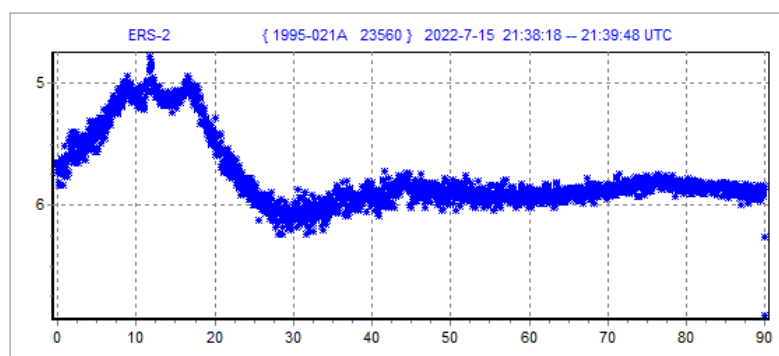


Рис. 3. – Кривая блеска IC3 ERS-2

Сравнение полученных данных с результатами других наблюдателей показывает хорошее соответствие по основным параметрам. Интересно отметить, что наблюдения ERS-2 представляют особую ценность, так как этот спутник завершил свою активную миссию и сейчас находится в стадии постепенного снижения орбиты.

Исследовательский спутник MIDORI-II (ADEOS-II, NORAD 27597) продемонстрировал качественно иную картину изменений блеска (рис. 4).

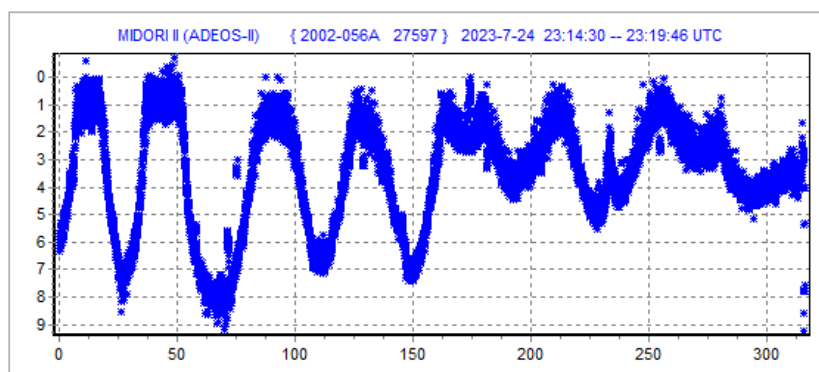


Рис. 4. – Кривая блеска IC3 MIDORI-II

Крупногабаритный аппарат с развернутыми солнечными панелями показал плавные вариации блеска. Характерная форма кривой хорошо соответствует ожидаемой для объекта с такой конфигурацией.

Особый интерес представляют наблюдения спутника дистанционного зондирования ALOS (DAICHI, NORAD 28931). Полученная кривая блеска (рис. 5) отличается сложной, немонотонной структурой с резкими скачками амплитудой до 2 звездных величин.

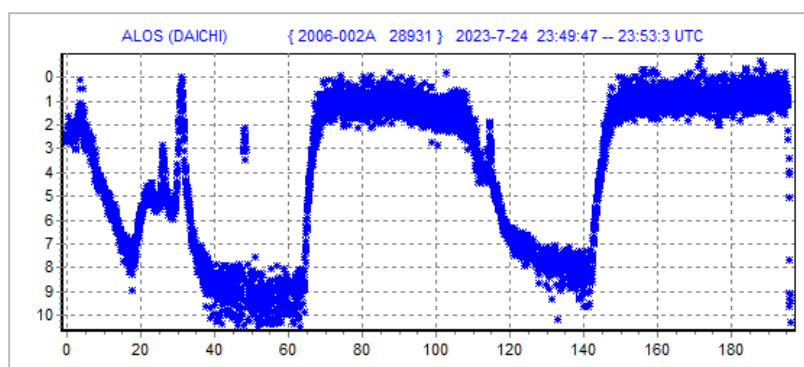


Рис. 5. – Кривая блеска ИСЗ ALOS

Такой характер изменений, вероятно, отражает сложную динамику аппарата в рабочем режиме и особенности конструкции его отражающих поверхностей [10].

Тщательный анализ точности измерений показал, что система обеспечивает определение блеска с среднеквадратичной ошибкой ± 0.15 звездных величин, а периодов вращения - с точностью до ± 0.05 секунды. Эти параметры полностью соответствуют требованиям для любительских и полупрофессиональных фотометрических исследований.

Проведённые исследования подтвердили эффективность разработанной методики адаптации телескопа-дальномера ТПЛ-1 для фотометрических наблюдений искусственных спутников Земли. Установка дополнительной камеры ZWO ASI294MM Pro с объективом "Юпитер-21М" на штатную монтировку телескопа позволила получать качественные фотометрические данные, что подтверждается анализом кривых блеска для нескольких типов спутников (ERS-2, MIDORI-II, ALOS) с точностью, сопоставимой с профессиональными инструментами

Разработанный подход сочетает доступность любительского оборудования с точностью, достаточной для решения прикладных задач. Это открывает новые возможности для образовательных проектов в области астрономии, любительских исследований искусственных спутников, мониторинга космической обстановки.

Перспективы дальнейшего развития системы включают автоматизацию процесса наблюдений, внедрение более совершенных алгоритмов обработки данных и расширение круга наблюдаемых объектов. Проведённая работа наглядно демонстрирует, что грамотная модернизация существующего оборудования позволяет получать научно значимые результаты без полной замены оборудования и приобретения специализированной техники.

Литература

1. Кудак В.И., Епишев В.П., Периг В.М., Найбауер И.Ф. Определение ориентации и периода вращения спутника TOPEX/POSEIDON фотометрическим методом // Астрофизический бюллетень. — 2017. — № том 72, № 3. — С. 372-381.
2. Коробцев И.В., Мишина М.Н., Караваев Ю.С., Еселевич М.В., Горяшин В.Е. Фотометрические наблюдения и моделирование формы космического мусора на средневисотных орбитах. Солнечноземная физика. 2024. Т. 10, № 1. С. 74–82. DOI: 10.12737/szf101202410.
3. Каткова Е.В., Бескин Г.М., Бирюков А.В. Массовая фотометрия низкоорбитальных ИСЗ на ММТ-9 // Сборник трудов конференции "Околоземная Астрономия-2015". — 2016. — № . — С. 261-267.
4. Стойков А., Лапошка В. Экспериментальное исследование источников ошибок точности наведения лазерного дальномера // Astronomija 20 act a Universitati s Latviensi S. — Riga, 1995. — № vol. 600. — с. 67-70.
5. Пинигин Г.И. Телескопы наземной оптической астрометрии. Учебное пособие. – Николаев: Атолл, 2000. – 104 с.: илл. .ISBN 966-7726-14-2.
6. Стойков А., Жагар Ю., Димитрова М. Метод определения параметров «алт-алт» монтировки телескопа, работающего в вертикальной системе координат // Astronomija 20 act a Universitati s Latviensi S. — Riga, 1995. — № vol. 600. — с. 83-88.

7. Абеле М. Юстировка оптических систем телескопа ТПЛ-1 // *Astronomija 20 act a Universitati s Latviensi S.* — Riga, 1995. — № vol. 600. — с. 5-10.
8. Наборы элементов NORAD GP Текущие данные // URL: celestrak.org/NORAD/elements/gp.php?GROUP=visual&FORMAT=tte.
9. Kolesnik, S.Ya & Paltsev, N.G. Determination of rotation parameters of unstabilized artificial earth satellite (AES), presented by model “diffuse cylinder”. 2009 Astronomical School’s Report. 6 p. 93-97. DOI: 10.18372/2411-6602.06.1093.
10. Семкин Н.Д., Телегин А.М., Калаев М.П. Космическое пространство и его влияние на элементы конструкций космических аппаратов: электрон. метод. пособие к практ. работам / М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); Электрон. текстовые и граф. дан. (1,06 Мбайт). - Самара, 2013 - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

References

1. Kudak V.I., Epishev V.P., Perig V.M., Najbauer I.F. *Astrofizicheskij byulleten`*. 2017., № tom 72, № 3. pp. 372-381.
2. Korobcev I.V., Mishina M.N., Karavaev Yu.S., Eselevich M.V., Goryashin V.E. *Solnechnozemnaya fizika*. 2024. T. 10, № 1. pp. 74–82. DOI: 10.12737/szf101202410.
3. Katkova E.V., Beskin G.M., Biryukov A.V. *Massovaya fotometriya nizkoorbital'ny`x ISZ na MMT-9. Sbornik trudov konferencii "Okolozemnaya Astronomiya-2015"*. 2016. pp. 261-267.
4. Stojkov A., Laposhka V. *Astronomija 20 act a Universitati s Latviensi S.* Riga, 1995. vol. 600. pp. 67-70.

5. Pinigin G.I. Teleskopy` nazemnoj opticheskoy astrometrii. [Ground-based optical astrometry telescopes]. Uchebnoe posobie. Nikolaev: Atoll, 2000. 104 p. ill. ISBN 966-7726-14-2.
6. Stojkov A., Zhagar Yu., Dimitrova M. Metod opredeleniya parametrov «alt-alt» montirovki teleskopa, rabotayushhego v vertikal`noj sisteme koordinat. [Method for determining parameters of telescope mount operating in vertical coordinate system]. Astronomija 20 act a Universitati s Latviensi S. Riga, 1995. vol. 600. pp. 83-88.
7. Abele M. Yustirovka opticheskix sistem teleskopa TPL-1. [Alignment of TPL-1 telescope optical systems]. Astronomija 20 act a Universitati s Latviensi S. Riga, 1995. vol. 600. pp. 5-10.
8. Nabory` e`lementov NORAD GP Tekushhie dannyy`e [NORAD GP Element Sets Current Data]. URL: celestrak.org/NORAD/elements/gp.php?GROUP=visual&FORMAT=tle.
9. Kolesnik, S.Ya & Paltsev, N.G. Determination of rotation parameters of unstabilized artificial earth satellite (AES), presented by model “diffuse cylinder”. 2009 Astronomical School’s Report. 6. pp. 93-97. DOI: 10.18372/2411-6602.06.1093.
10. Semkin N.D., Telegin A.M., Kalaev M.P. Kosmicheskoe prostranstvo i ego vliyanie na e`lementy` konstrukcij kosmicheskix apparatov. [Space environment and its impact on spacecraft structural elements]. e`lektron. metod. posobie k prakt. Rabotam. M-vo obrazovaniya i nauki RF, Samar. gos. ae`rokosm. un-t im. S. P. Koroleva (nacz. issled. un-t); E`lektron. tekstovy`e i graf. dan. (1,06 Mb). Samara, 2013 1 opt. disk (CD-ROM).

Дата поступления: 10.06.2025

Дата публикации: 25.07.2025