

УДК 520.2:520.3:523

**В. М. Абросимов¹, А. Н. Ковальчук², С. В. Малевинский¹,
Г. И. Пинигин², В. В. Савченко¹, А. В. Шульга²**

¹Национальный центр управления и испытаний космических засобів, Євпаторія

²Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Миколаїв

Изучение объектов в ближнем космосе с помощью телескопа АЗТ-8, оснащенного ПЗС-камерой

Надійшла до редакції 07.03.03

При розширенні діапазону спостережуваних об'єктів штучного і природного походження в навколоземному космічному просторі в область слабких об'єктів в оптичному діапазоні важливе значення мають як параметри телескопа, так і методи реєстрації. Розглянуто перелік задач, вирішуваних за допомогою телескопа АЗТ-8 у випадку його автоматизації і оснащення сучасною ПЗС-камерою. При використанні розробленого у Миколаївській астрономічній обсерваторії комбінованого ПЗС-методу очікувана точність спостережень на АЗТ-8 у ближньому і далекому космосі складе 0.2—0.3" по обох координатах для об'єктів 19—20^м.

ВВЕДЕНИЕ

Концепция использования малоразмерных, унифицированных и малозатратных средств наблюдений находит свое применение в астрономии. Она достаточно распространена в практической космонавтике (многоцелевые микроспутники, унифицированные наземные и космические платформы, новые технологии), обеспечивая высокую научную и экономическую эффективность [7]. Опыт практического использования современных регистрирующих и автоматических устройств показывает, что эффективная реализация ряда актуальных научных и прикладных программ астрономии и космонавтики возможна с телескопами типа АЗТ-8, имеющими зеркала сравнительно небольших размеров ($D = 0.5...1.0$ м). С этих позиций представляется весьма своевременной модернизация и оснащение телескопа АЗТ-8 Национального центра управления и испытаний космическими средствами (НЦУИКС) современной ПЗС-аппаратурой, разработанной и изготовленной в Николаевской астрономической обсерватории (НАО) на базе матрицы ISD017P и камеры типа SIC производства НПП «Электрон-Оптроник» (Санкт-Петербург, Россия). При этом положительное значение имеет достаточно хороший астроклимат расположения АЗТ-8 на

равнинной площадке НЦУИКС вблизи Евпатории, а также близкое размещение двух телескопов АЗТ-8 и КОС «Сажень» для согласованных наблюдений избранных объектов.

ПРОГРАММЫ НАБЛЮДЕНИЙ

В перспективе научно-технического сотрудничества НЦУИКС и НАО планируется в рамках Национальной космической программы Украины по проектам «Модернизация-С» и «Интерферометр» и других международных программ проведение следующих научных и прикладных исследований (см. [3, 10], а также [<http://www.astro.ro/wg2.htm> - 2003]):

- мониторинг объектов искусственного и естественного происхождения с целью определения их орбит и расчета целеуказаний, включая геостационарные и геосинхронные орбиты;
- организация и проведение наблюдений низкоорбитальных микроспутников и малоконтрастных объектов;
- регистрация фрагментов «космического мусора» вплоть до геостационарных орбит;
- наблюдение (поиск и сопровождение) астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ) в рамках

наземной поддержки международной космической программы GAIA;

- наблюдение внегалактических радиоисточников (ERS) для уточнения связи радио- и оптической опорных систем координат;
- создание стандартных (калибровочных) площадок в избранных участках небесной сферы;
- наблюдение тел Солнечной системы (астероидов, малых планет, транснептуновых объектов) для определения их масс, элементов орбит, решения задач небесной механики;
- позиционные и фотометрические наблюдения спутников планет и астероидов (покрытия и явления) в рамках международных программ.

СОСТОЯНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЗТ-8

Телескоп-рефлектор АЗТ-8 с диаметром зеркала 70 см был изготовлен малой серией на известном

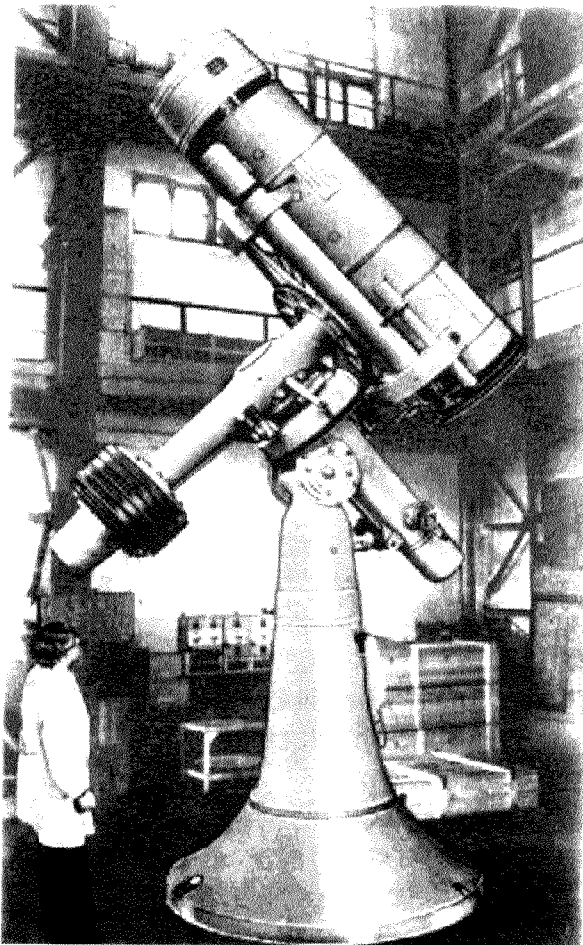


Рис. 1. Телескоп-рефлектор АЗТ-8

оптико-механическом предприятии ЛОМО после 1964 г. [6]. Общий вид представлен на рис. 1, технические данные — в табл. 1. Телескоп АЗТ-8 установлен на научной площадке Национального центра управления и испытаний космических средств НКАУ в районе г. Евпатория.

Телескоп АЗТ-8 имеет возможность работы с двумя оптическими системами ($F/8$ для фокуса Кассегрена и $F/3$ для фокуса Ньютона). Кроме того, на телескопе параллельно основной трубе установлена спутниковая камера ($D = 21.4$ см, $F = 0.75$ м) для синхронных наблюдений быстро перемещающихся объектов в большом поле зрения до 1.4° . Наиболее оптимальным вариантом для позиционных наблюдений удаленных и неподвижных объектов является система Кассегрена $F/8$, обеспечивающая масштаб поля $0.3''/\text{пкл}$. Поле зрения в этом случае ограничивается геометрическими размерами ПЗС-матрицы (в случае матрицы ISD017P $5.1' \times 5.7'$) (см. табл. 4).

Использование трех оптических каналов на АЗТ-8 обеспечивается ПЗС камерами двух типов, имеющих одинаковые матрицы ISD017P производства НПП «Электрон-Оптроник». Характеристики матрицы приведены ниже (см. табл. 2) [12, 13]. Конструктивно матрица расположена в газонаполненном металлокерамическом корпусе со встроенным термоэлектрическим (Пельтье) охладителем.

Таблица 1. Технические данные телескопа АЗТ-8

Система Кассегрена	$D = 70$ см, $F = 11.20$ м
Система Ньютона	$D = 70$ см, $F = 2.65$ м
Спутниковая камера	$D = 21$ см, $F = 0.75$ м
Монтировка телескопа	Параллактическая
Павильон	Башня с раздвижным куполом
Привод	Электрический
ПЗС-камеры	1 — НПК, 2 — S1C

Таблица 2. Характеристики матрицы ISD017P производства НПП «Электрон-Оптроник»

Число элементов ($H \times V$)	1040×1160
Организация изделия	SFF
Размер пиксела, мкм	16×16
Заряд насыщения (тыс. эл.)	130
Шум считывания однокаскадного выхода (эл.)	4
Темновой сигнал (40°C), эл./яч./с	4
Квантовая эффективность, % $\lambda = 250$ нм	12
$\lambda = 400$ нм	25
750 нм	60
1100 нм	25
1250 нм	12
Неэффективность переноса заряда	$< 10^{-5}$

НИКОЛАЕВСКАЯ ПЗС-КАМЕРА (НПК)

В настоящее время в НИИ «НАО» для телескопа АЗТ-8 изготовлена ПЗС-камера, структурная схема которой представлена на рис. 3 [5]. Приведем описание и данные ПЗС-камеры НПК, использующей матрицу ISD017P.

НПК представляет собой цифровую многорежимную ПЗС-камеру с 16-разрядной оцифровкой сигнала и минимизированными шумовыми характеристиками. Встроенный термостатированный опорный генератор обеспечивает высокую стабильность временных характеристик управляющих диаграмм независимо от изменения температуры окружающей среды. Применение сверхмалозумящих усилителей, двойная коррелированная выборка, а также невысокая частота считывания сигнала позволяют свести к минимуму собственные шумы камеры.

Управление камерой и отображение видеoinформации осуществляется с помощью компьютера. Конструктивно камера выполнена в виде камерной головки с матрицей и предусилителем, выносным

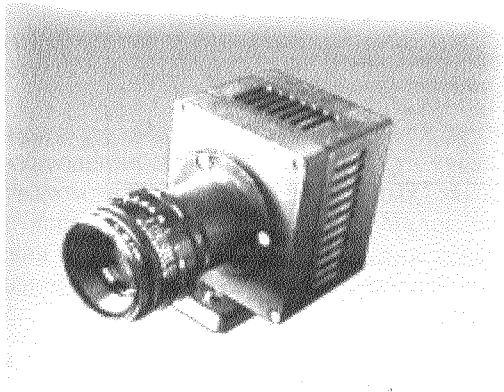


Рис. 2. Прецизионная цифровая ПЗС-камера S1C

модулем управления и обработки сигнала, источником питания (рис. 3). Базовый интерфейс с компьютером — параллельный, расстояние до компьютера в базовом варианте — до 20 м. Для подключения к компьютеру используется ISA-адаптер. Программное обеспечение разработано на языке PASCAL и включает в себя процедуры управления, отображения и обработки сигнала.

ПЗС-КАМЕРА S1C НПП «ЭЛЕКТРОН-ОПТРОНИК»

Малокадровая цифровая ПЗС-камера нового поколения S1C — это компактный (моноблок) 14-разрядной цифровой камеры с двумя режимами опроса ПЗС (скоростным и точным), регулируемым временем экспозиции ПЗС (от 1 мс до 3000 с) и большим количеством встроенных функций обработки изображения (рис. 2) [12, 13].

Особенностью камеры S1C является полностью цифровая обработка видеосигнала (ДКВ, привязка к уровню черного и др.). Управление камерой и отображение видеoinформации осуществляется с помощью компьютера. Конструктивно камера выполнена в виде моноблока (100×80×90 мм) с выносным блоком питания. Базовый интерфейс с компьютером — последовательный, расстояние до компьютера в базовом варианте — до 10 м. Для подключения к компьютеру используется PCI-адаптер, с помощью которого возможен ввод изображения в реальном времени. Вся обработка видеосигнала выполняется в цифровом виде. Для камер семейства S1C разработано программное обеспечение (в среде Windows'95/98) со следующими основными функциями: управление режимами работы камеры; отображение изображений на экране монитора с изменением масштаба, яркости и контраста, гамма-коррекция; сохранение изображений в файлы стандартных форматов (TIFF, PCX).



Рис. 3. Схема ПЗС-камеры НАО

ПЗС-МЕТОД НАБЛЮДЕНИЙ

Использование ПЗС-камер двух типов предполагается использовать в разных оптических каналах АЗТ-8 с применением комбинированного ПЗС-метода [9]. Комбинированный ПЗС-метод наблюдения геостационарных спутников (ГСС) является развитием предложенного в ГАО НАНУ [2] подобного метода с использованием фотографического приемника. Применение новых технических средств (ПЗС) позволяет предлагаемым методом достичь точности единичного наблюдения координат ГСС в оптическом диапазоне не хуже $0.2''$ — $0.3''$; фотографические наблюдения обеспечивают точность $0.3''$ — $0.5''$ и даже $1''$ [8, 11].

В основу метода положен принцип наблюдения на телескопе с параллактической монтировкой оснащенной универсальной ПЗС-камерой НПК [9]. Камера НПК имеет возможность последовательной работы как в кадровом режиме, так и в режиме синхронного переноса заряда. При неподвижном телескопе спутник наблюдается в кадровом режиме, а движущиеся изображения звезд в режиме синхронного переноса заряда. Таким образом, получают звездообразные изображения как для спутника, так и для опорных звезд, при этом моменты начала и конца всех наблюдательных процедур фиксируются по синхронметру службы времени с точностью не хуже миллисекунды.

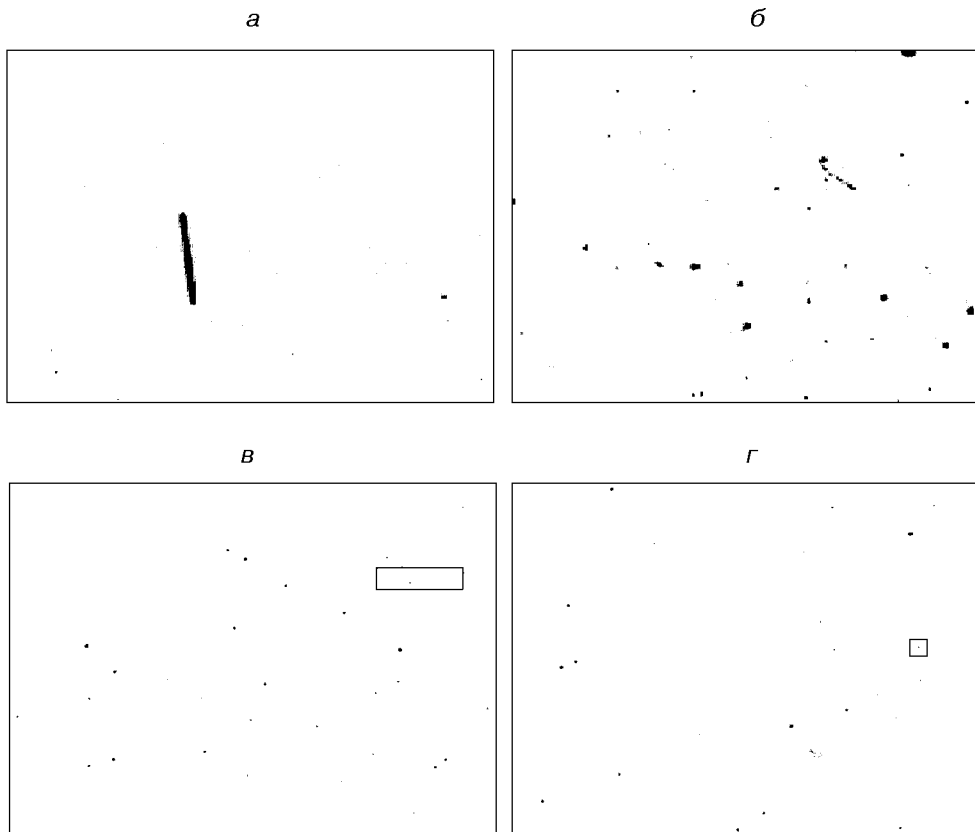


Рис. 4. ПЗС-изображение низкоорбитальных спутников LACROSSE (а), PROBA (б) и геостационарных спутников ASTRA (в), GORIZONT 19 (г)

Таблица 3. Характеристики наблюдаемых объектов на спутниковой камере телескопа АЗТ-8

Название спутника	Размер, м ³	Вес, т	Параметры орбиты				
			период, мин	Апогей, км	перигей, км	Наклонение	Точка стояния
LACROSS 4	4.4×6.2×12.6	14.5	98.36	684	677	68°	—
PROBA 1	0.6×0.6×0.8	0.1	96.78	663	546	97.9°	—
ASTRA	Разные	—	—	—	—	—	19.2° E
GORIZONT 19		2.1	1435.54	35785	35767	8.87	33.0° E

**РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ ОБЪЕКТОВ
БЛИЖНЕГО КОСМОСА И АСТРОНОМИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ АЗТ-8,
ОСНАЩЕННЫХ ПЗС-КАМЕРОЙ**

Наблюдения проводились с использованием спутниковой камеры, оснащенной камерой SIC. В наблюдательный список были включены объекты на разных орбитах, а именно [http://www.astronautix.com]:

- на низких орбитах — крупногабаритный спутник LACROSS и микроспутник PROBA;
- на геостационарных орбитах — группа спутников ASTRA и одиночный спутник GORIZONT.

Выбор наблюдательного списка осуществлялся из соображений оценки максимальных наблюдательных возможностей спутниковой камеры телескопа как по высотам, так и по размерам объектов, а также возможности наблюдений групп объектов. Эфемериды рассчитывались с использованием данных NORAD Two-Line ElementSets Current Data [http://www.CelesTrak Current NORAD Two-Line Element Sets].

Ниже представлены изображения крупногабаритного спутника (рис. 4, а) и микроспутника (рис. 4, б), группы объектов и одиночного объекта (рис. 4, в, г) на геостационарных орбитах.

Оценка точности спутниковой камеры выполнена по наблюдениям звезд. Инструментальная точность одного наблюдения положений и яркости звезд при трехсекундном накоплении для разных звездных величин представлены в табл. 4. Малое время накопления выбрано с целью сохранения точечных изображений звезд. Оценка проникающей способ-

Таблица 4. Погрешность определения положений и яркости звезд

Величина	ε_m	$\varepsilon_{x,y}$
5—7 ^m	0.05 ^m	0.15"
7—9	0.10	0.20
9—11	0.15	0.25

Таблица 5. Расчетные значения проникающей способности каналов АЗТ-8, оснащенных ПЗС-камерой с матрицей ISD 017P, при наблюдении ИСЗ и ГСС

Канал	Поле зрения ($\delta \times \alpha$)	Точность единичного наблюдения	Проникающая способность				
			Высота объекта, км:	500	1000	10000	36000
			Блеск ($R_{\min} = 1$ мм):	19.1 ^m	20.6 ^m	23.1 ^m	24.5 ^m
Блеск ($R_{\max} = 5$ см):	10.6 ^m	12.1 ^m	14.6 ^m	16.0 ^m			
Система Кассегрена	5.1'×5.7'	0.02"—0.2"	14.0 ^m	14.5 ^m	16.5 ^m	20.6 ^m	
Система Ньютона	21.5'×24.1'	0.05"—0.5"	18.7	19.2	21.2	23.8	
Спутниковая камера	76'×85'	0.15"—4.0"	17.6	18.2	20.2	21.3	

ности спутниковой камеры показала возможность наблюдения объектов до 13^m.

По наблюдениям ГСС и ИСЗ при времени накопления 3 с полученная предварительная точность определений положений ГСС составила 4"—6", а ИСЗ на высотах 500—1500 км — 5"—10". Эти значения сопоставимы с данными для других аналогичных телескопов [1].

На основе реальных данных были рассчитаны наиболее вероятные характеристики трех каналов телескопа АЗТ-8, которые представлены в табл. 5. Методика расчета была выбрана из [4] и учитывает повышение проникающей способности и точности наблюдений в телескопических системах Кассегрена и Ньютона за счет увеличения фокусного расстояния и диаметра зеркала по сравнению с данными для спутниковой камеры. Также следует указать, что расчеты были сделаны для дифракционных изображений объектов и с учетом увеличения времени накопления до 60 с (для ГСС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Результаты первых наблюдений на АЗТ-8 с ПЗС-камерой показали перспективность использования телескопа для регулярных исследований околоземного космического пространства, а также объектов Солнечной системы.

2. Полученные данные со спутниковой камеры позволяют использовать ее для оперативного контроля объектов околоземного пространства на высотах от 500 км до геостационарных орбит в широком поле зрения.

3. Расчетные данные по стандартным оптическим схемам позволят использовать телескоп АЗТ-8:

- в случае системы Кассегрена — для решения астрономических задач (связь между различными координатными системами, определение положений и яркости объектов в избранных площадках небесной сферы), фотометрические исследования объектов околоземного пространства;

- в случае системы Ньютона — определение астрометрических и динамических характеристик тел Солнечной системы, уточнение элементов орбит космических аппаратов, мониторинг космического мусора.

В целом ожидаемая точность позиционных наблюдений ближнего и дальнего космоса на АЗТ с главным зеркалом (система Кассегрена) может составить около $0.2''$ — $0.3''$ для объектов до 19 — 20^m .

1. Гусева И. С., Каткова Е. В. Экспериментальные наблюдения геостационарных ИСЗ на АКД в Пулкове // Всероссийская астрономическая конференция. — СПб, 2001.—С. 57.
2. Дума Д. П., Ивашенко Ю. Н., Шокин Ю. А. Опыт определения высокоточных координат геостационарных ИСЗ с помощью широкоугольного астрографа и специальной кассеты // Кинематика и физика небес. тел.—1986.—2, № 2.—С. 86—88.
3. Закон України «Про Загальнодержавну (Національну) космічну програму України на 2003 — 2007 роки» від 24 жовтня 2002 року № 203—IV.
4. Ковальчук А. Н., Пинигин Г. И., Шульга А. В. Скоростной автоматический комплекс для регистрации небесных объектов естественного и искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. — М.: ИНАСАН, 2000.—С. 361—371.
5. Ковальчук О. М. Універсальний ПЗЗ-мікромметр в астрономії // Кинематика и физика небес. тел. Приложение.—1999.—№ 1.—С. 97—100.
6. Оптические приборы. Каталог-справочник — М.: Дом оптики, 1980.—Том 8. Приборы астрономические.
7. Полищук Г. М., Мальшев В. В., Райкунов Г. Г. и др. Новая концепция развития космических средств дистанционного зондирования Земли // Тез. 7-й междунар. конф. «Системный анализ и управление космическими комплексами», Евпатория, 1—8 июля, 2002.—С. 4—5.
8. Kirichenko A. G., Kizyun L. M., Klimik et al., Catalogues of positions and orbital elements of the geosynchronous objects. Object observations for the purpose of collisions detection // Extension and connection of reference frames using CCD ground-based technique. — Nikolaev: Atoll, 2001.—P. 189—193.
9. Kovalchuk A., Shulga A., Martynov M. Combined CCD observational method of geostationary satellite, methodical and technical designs and results // Extension and connection of reference frames using ground-based CCD technique. — Nikolaev: Atoll, 2001.—P. 194—200.
10. Mignard F. Observations of solar system objects with GAIA.I. Detection of NEOS // Astron. and Astrophys.—2002.—393.—P. 727.
11. Rykhlova L., Barabanov S., Kasimenko T., et al. Investigations of artificial and natural space objects in the vicinity of the Earth // extension and connection of reference frames using CCD ground-based technique. — Nikolaev: Atoll, 2001.—P. 161—170.
12. Vishnevsky G. I., Gumerov R. I., Pinigin G. I., et al. Scientific and technical collaboration between Russian and Ukrainian author collectives on the development of astronomical instruments equipped with the advanced detection devices // Astron. and Astrophys. Transactions.—2003.—22, N 4—5.—P. 777—786.
13. Vishnevsky G., Vydrevich M., Galyatkin I., et al. UV-IR CCD and Digital Cameras // Extension and Connection of Reference Frames using CCD ground-based Technique. — Nikolaev: Atoll, 2001.—P. 238—240.

INVESTIGATION OF NEAR-EARTH SPACE OBJECTS BY THE USE OF THE TELESCOPE AZT-8 WITH A CCD CAMERA

V. M. Abrosimov, A. N. Kovalchuk, S. V. Malevinskii,
G. I. Pinigin, V. V. Savchenko, A. V. Shulga

In extending the range of artificial and natural objects observed in near-Earth space to faint magnitudes both telescope parameters and detection methods are of great importance. Possibilities and list of problems which can be solved by the use of the AZT-8 with a CCD camera are considered. It is expected that position accuracy for near-Earth space objects up to 20 magnitudes will be about 0.2 — $0.3''$ when the AZT-8 modernized is used for observation.