

**НАБЛЮДЕНИЯ ТГК «ПРОГРЕСС» НА ОПТИЧЕСКОМ ТЕЛЕСКОПЕ АЗТ-33ИК****PROGRESS CARGO SPACECRAFT OBSERVED WITH  
THE AZT-33IK OPTICAL TELESCOPE****Е.В. Клунко***Институт солнечно-земной физики СО РАН,  
Иркутск, Россия, eklunko@gmail.com***М.В. Еселевич***Институт солнечно-земной физики СО РАН,  
Иркутск, Россия, mesel@iszf.irk.ru***В.И. Тергоев***Институт солнечно-земной физики СО РАН,  
Иркутск, Россия, tvi@iszf.irk.ru***E.V. Klunko***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,  
Irkutsk, Russia, eklunko@gmail.com***M.V. Eselevich***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,  
Irkutsk, Russia, mesel@iszf.irk.ru***V.I. Tergoev***Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,  
Irkutsk, Russia, tvi@iszf.irk.ru*

**Аннотация.** В работе приведено описание телескопа и измерительной аппаратуры, с помощью которых проводились оптические наблюдения транспортных грузовых кораблей (ТГК) «Прогресс» во время сеансов космических экспериментов «Радар–Прогресс». Приводится описание методик сопровождения объекта на низкой орбите и проведения измерений. Наблюдения проводились во время пролетов ТГК в зоне видимости оптического телескопа АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН. Во многих сеансах были зарегистрированы оптические явления, происходящие в окружающей ТГК области пространства и связанные с работой их бортовых двигателей. Полученные данные могут быть использованы для независимого контроля геометрии эксперимента и анализа физических условий во внешней среде. Приводятся примеры полученных изображений.

**Ключевые слова:** космический эксперимент, оптический сигнал, космический аппарат, низкая орбита, телескопические наблюдения.

**Abstract.** In this paper, we describe a telescope and measuring equipment used for optical observations of Progress cargo spacecraft (PCS), which were made during Radar–Progress space experiment sessions. We also describe object tracking and measurement techniques. The observations were made with the optical telescope AZT-33IK at Sayan Solar Observatory of ISTP SB RAS. During many of the sessions, we registered optical phenomena that occurred in regions of space surrounding PCS and appeared due to the work of PCS onboard engines. The data we obtained can be used to independently control the geometry of the experiment and to analyze physical conditions in outer space.

**Keywords:** space experiment, optical signal, spacecraft, low orbit, telescopic observations.

**ВВЕДЕНИЕ**

Космический эксперимент (КЭ) «Радар–Прогресс» направлен на изучение влияния работы двигательных установок и выбросов топлива из космических аппаратов на верхние слои атмосферы и ионосферу Земли [Хахинов и др., 2012, 2013]. Для регистрации изменений в этих средах были задействованы как активные радиоизмерительные средства ИСЗФ СО РАН (Иркутский радар некогерентного рассеяния) [Лебедев и др., 2008; Potekhin et al., 2009], так и пассивные радио- и оптические измерительные средства, что позволило в дальнейшем провести комплексный анализ полученной научной информации.

Низкая орбита ТГК (300–400 км над поверхностью Земли) существенно ограничивает время его наблюдения на оптическом телескопе. Продолжительность пролета космического аппарата (КА) в зоне обзора наблюдательного пункта составляет всего несколько минут, при этом большинство пролетов в течение ночи происходит таким образом,

что объект полностью находится в тени Земли и, следовательно, невидим. Наблюдения возможны только в короткий период сумерек, когда Солнце в точке наблюдения уже находится под горизонтом, но еще освещает пролетающий над обсерваторией на низкой орбите КА. В случае ТГК таким условиям соответствовали один-два витка в сутки. Во многих сеансах КЭ «Радар–Прогресс» моменты включения двигателей ТГК специально планировались таким образом, чтобы обеспечить возможность его наблюдения в это время на оптическом телескопе. Для обеспечения наилучшей видимости важно также, чтобы ТГК в этот момент был виден из наблюдательного пункта достаточно высоко над горизонтом (в идеале — в районе зенита).

Кроме того, большая видимая скорость движения КА по небу (1.5 °/с на минимальной дистанции сближения) существенно затрудняет его качественное сопровождение и удержание в поле зрения оптического телескопа, точнее, оптоэлектронной системы. Это предъявляет повышенные требования к меха-

нике телескопа, конструкции его приводов, применяемым алгоритмам управления и становится особенно важным, если поле зрения составляет всего несколько угловых минут.

Оптические наблюдения, проводимые во время КЭ «Радар–Прогресс», носят как вспомогательный, так и самостоятельный исследовательский характер. Полученные в процессе наблюдений данные позволяют контролировать и восстанавливать (в том случае, если они неизвестны) геометрические параметры эксперимента и его временной ход, измерять параметры выбрасываемой струи при работе двигателя, исследовать ее динамику и взаимодействие с окружающей средой.

Угловое разрешение (детализация) получаемых изображений ограничивалось такими факторами, как разрешение применяемой оптоэлектронной системы, атмосферное качество (сиинг) в момент наблюдений, а также размазывание изображения вследствие неидеального сопровождения. Угловой размер самого ТГК на минимальной дальности сближения 300 км равен 5 угл. сек, что ненамного превышает типичное качество атмосферы в Саянской обсерватории (2 угл. сек). Таким образом, даже в отсутствие других мешающих факторов, без применения устройств адаптивной оптики невозможно увидеть детали изображения самого ТГК, поэтому такая задача не ставилась. Основное внимание уделялось получению изображений факела двигателя и топливных струй, которые имеют характерные размеры, много превышающие размеры самого ТГК.

## ОПТИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП АЗТ-33ИК

Телескоп АЗТ-33ИК (рис. 1) специально разрабатывался для наблюдений околоземных космических объектов (в том числе на низких орбитах) и имеет ряд конструктивных решений, обеспечивающих его эффективное применение для этих целей. В первую очередь, следует упомянуть высокую разрешенную скорость вращения по часовой оси и оси склонений (до 3 °/с). В телескопе применен классический привод с червячным механизмом, обеспечивающий высокую точность движения. Высокая скорость в червячной паре привода обеспечивается за счет специального выбора материалов: сталь — для червяка, фтористая бронза — для венца червячного колеса. Кроме того, червячная передача привода по часовой оси, имеющего большие размеры колеса и, соответственно, большую скорость червяка относительно колеса, смазывается при помощи масла.

Для привода телескопа АЗТ-33ИК используется однодвигательная схема на базе высокомоментного шагового двигателя [Камус и др., 2002]. Один шаг двигателя соответствует повороту оси телескопа на 2 угл. сек. Использование шагового двигателя позволяет с необходимой точностью задавать скорость работы привода и, следовательно, траекторию движения телескопа в соответствии с расчетной эфемеридой КА. Схема управления приводом может также обеспечивать работу двигателя в режиме дробления шага, что необходимо для увеличения плавности

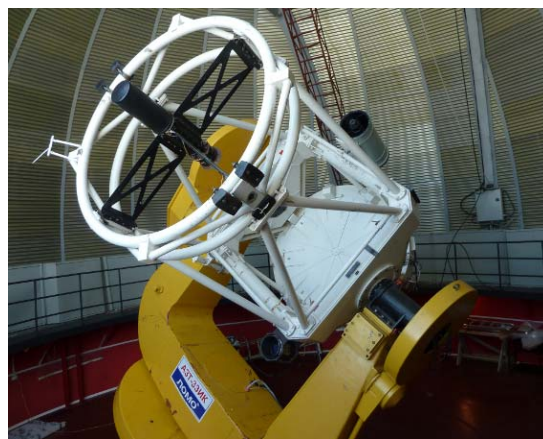


Рис. 1. Внешний вид и башня телескопа АЗТ-33ИК

вращения на низких скоростях. Максимальное ускорение вращения по каждой оси телескопа составляет 0.4 °/с<sup>2</sup>. Этого достаточно, чтобы обеспечить сопровождение низкоорбитального КА, если траектория его движения проходит не вблизи полюса мира. Поскольку телескоп имеет экваториальную монтировку, вблизи полюса, где угловые скорости и ускорения сопровождения объекта могут стремиться к бесконечности, наблюдения невозможны. Как правило, сеансы КЭ проводились на витках, для которых траектория движения ТГК проходила вблизи зенита и скорости сопровождения по часовой оси не превышали 2 °/с. Положение телескопа контролируется с помощью датчиков, установленных на оси червяка каждого привода. Цена деления датчика соответствует углу поворота телескопа на 0.15 угл. сек по каждой оси.

В десяти сеансах наблюдений ТГК, проведенных на телескопе в 2010–2014 гг., максимальная скорость сопровождения по часовой оси варьировала в диапазоне от 1.4 до 2 °/с, скорость сопровождения по оси склонений не превышала 0.5 °/с. Максимальные ускорения по часовой оси и оси склонений не превышали, соответственно, 0.04 и 0.03 °/с<sup>2</sup>.

Телескоп АЗТ-33ИК построен по оптической схеме Ричи — Кретьена и имеет диаметр главного зеркала 1.6 м. Конструкция телескопа оптимизирована для наблюдений в ИК-диапазоне спектра. Основные параметры телескопа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры оптического телескопа АЗТ-33ИК

монтаж	экваториальная вилочная
максимальная скорость движения	3.0 °/с
погрешность наведения абсолютная/офсетная	27/1.0 угл. сек
оптическая схема	Ричи — Кретьен
световой диаметр главного зеркала	1600 мм
световой диаметр вторичного зеркала	210.5 мм
фокусное расстояние	30000 мм
угловое поле зрения	12'
линейное поле зрения	105 мм

Таблица 2

Параметры широкоугольной оптоэлектронной системы

тип оптической системы	катадиоптрический объектив с кассегреновским фокусом
диаметр входного зрачка	200 мм
фокусное расстояние	250 мм
тип ПЗС-камеры	VS-СТТ-423
тип ПЗС-матрицы	ICX423AL
полный размер ПЗС-матрицы	744×572 пкс
размер пикселя	11.6×11.2 мкм
разрядность оцифровки	12 бит
размер поля зрения	2.0×1.5°
максимальное время накопления	20 с
предельная регистрируемая зв. величина	13

Таблица 3

Параметры основной оптоэлектронной системы видимого диапазона

тип оптической системы	зеркальный телескоп с линзовым редуктором фокусного расстояния
диаметр входного зрачка	1600 мм
фокусное расстояние	6876 мм
тип камеры	Andor Neo
тип матрицы	sCMOS
полный размер матрицы	2560×2160 пкс
размер пикселя	6.5×6.5 мкм
разрядность оцифровки	16 бит
размер поля зрения	8.3×7.0 угл. мин
предельная регистрируемая зв. величина	22
фильтры	BVRI

### ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

В сеансах КЭ регистрация оптического сигнала производилась с помощью следующих оптоэлектронных систем, установленных на телескопе АЗТ-33ИК:

- широкоугольная оптоэлектронная система видимого диапазона;
- основная оптоэлектронная система видимого диапазона;
- оптоэлектронная система ИК-диапазона 8–10 мкм [Тергоев и др., 2011].

Широкоугольная оптоэлектронная система видимого диапазона состоит из объектива ПДНК (прибора дальнего ночного короткофокусного) и ПЗС-камеры VS-СТТ-423, укрепленных на монтажке телескопа АЗТ-33ИК. Параметры системы приведены в табл. 2.

Основная оптоэлектронная система видимого диапазона состоит из оптической системы телескопа АЗТ-33ИК (каскадированный фокус), оптического редуктора фокусного расстояния и sCMOS-камеры Andor Neo. Параметры системы приведены в табл. 3. При измерениях в основном использовался режим бинирования пикселей изображения 4×4. Таким образом, один суммарный элемент изображения имел размер 26 мкм, что с учетом фокусного расстояния системы соответствует 0.78 угл. сек на небе.

Оптоэлектронная система ИК-диапазона 8–10 мкм состоит из оптической системы телескопа АЗТ-33ИК (каскадированный фокус) и ИК-камеры диапазона 8–10 мкм на основе матричного КРТ-фотоприемника. Параметры системы приведены в табл. 4.

Как видно, оптическая система телескопа АЗТ-33ИК (включает главное и вторичное зеркала) используется в двух оптоэлектронных системах — основной сис-

Таблица 4

Параметры оптоэлектронной системы ИК-диапазона 8–10 мкм

тип оптической системы	Ричи — Кретьен
диаметр входного зрачка	1600 мм
эквивалентное фокусное расстояние	6874.5 мм
относительное отверстие	1:4.27
поле зрения системы	0.1°
угловой масштаб	0.9 угл. сек / элемент
спектральный диапазон	7.7–9.5 мкм
тип ПЗС-матрицы	КРТ (кадмий–ртуть–теллур)
охлаждение	~77 К (жидкий азот)
размер ПЗС-матрицы	320×256 пкс
размер пиксела	30×30 мкм
разрядность оцифровки	14 бит
регулируемое время экспозиции	15–700 мкс
время считывания одного кадра (частота оцифровки 5 МГц)	5 мс
время передачи одного кадра в компьютер	≈50 мс
объем памяти контроллера	128 кадров

теме видимого диапазона и ИК-системе 8–10 мкм. Переключение потока света между ними производится с помощью поворотного диагонального зеркала, на которое свет попадает после прохождения отверстия в главном зеркале. Поворот зеркала происходит за время порядка 20–40 с, что делает практически невозможным одновременное использование этих двух систем в течение одного сеанса КЭ.

## 1. МЕТОДИКА СОПРОВОЖДЕНИЯ КА

За время проведения КЭ «Радар–Прогресс» была разработана и отлажена методика наблюдений низкоорбитальных КА на оптическом телескопе. В частности, была решена задача точного сопровождения быстро движущегося объекта. Разработанная методика успешно применяется для измерений других КА на низких орбитах.

Для сопровождения любого подвижного объекта необходимо знать видимую траекторию его движения по небу (эфемериду) для наблюдений из данного места на поверхности Земли. Эфемерида обычно рассчитывается по орбите (орбитальным элементам) измеряемого аппарата. Известно, что движение КА на низкой орбите подвержено влиянию большого количества возмущающих факторов, т. е. его орбита быстро меняется. Поэтому орбитальные элементы ТГК ежедневно обновлялись специалистами баллистического центра ЦНИИМаш. В сеансах КЭ для расчета эфемерид ТГК использовался программный пакет Арех-II [Девяткин и др., 2010].

Заметим, что при некоторых наблюдениях КА эфемерида может формироваться и динамически на основе данных, получаемых в режиме реального времени (например, по результатам одновременных радарных измерений КО). Кроме того, в эфемериду могут оперативно вноситься поправки, необходимые для выведения объекта в центр поля зрения, или компенсации скорости ухода объекта из поля зрения. Примером такой коррекции может служить команда «сдвинуть в центр», выполняемая из про-

граммы управления ПЗС-камерой [Клунко, Еселевич, 2012].

Отметим, что при отсутствии предварительной информации о траектории движения низкоорбитального КА осуществить его сопровождение с помощью оптического телескопа с ограниченным полем зрения (~1°) весьма затруднительно. Скорость движения КА может составлять до 1.5 °/с, а ограниченное поле зрения телескопа не позволяет зарегистрировать направление движения КА с точностью, достаточной для продолжения его сопровождения вдоль траектории движения.

Рассчитанная эфемерида представляет собой последовательность видимых положений КА в звездной системе координат (ICRS). В свою очередь, алгоритмы наведения/сопровождения работают в терминах инструментальных координат и скоростей вращения телескопа, т. е. координат, прочитанных по его датчикам, и скоростей, выданных в приводы. Поэтому над эфемеридой требуется выполнить преобразование из звездной в инструментальную систему координат. Такое преобразование выполняется в программе управления телескопом при любых наблюдениях (не только низкоорбитальных КА) и включает в себя следующие этапы:

- переход к видимому месту (учет прецессии, нутации, годичной абберации и т. д., а также вращения Земли);
- учет рефракции;
- учет механической модели наведения телескопа (неточность установки монтировки, неперпендикулярность часовой оси и оси склонения, гнутые вилки, гнутые трубы и др. [<http://www.tpoinsw.uk/index.htm>]).

За счет этого обеспечивается точность наведения телескопа на всем небе около 30 угл. сек.

Процесс выведения телескопа на инструментальную эфемериду и движения по ней осуществляется в программе управления телескопом в два этапа, называемые фазами наведения и сопровождения. При этом используются несколько различные способы расчета скоростей движения, обрабатываемых приводами телескопа. Работа алгоритма наведе-

ния/сопровождения по своему смыслу является повторяющимся (с шагом порядка 0.5–1 с) расчетом скоростей движения телескопа  $v_t$  и  $v_\delta$  по часовому углу и склонению. Каждая итерация алгоритма может быть описана следующей общей схемой:

- чтение текущих значений датчиков углового положения телескопа  $x_t$  и  $x_\delta$ ;
- получение из эфемериды текущего положения и скорости объекта, пересчет их в инструментальные (т. е. соответствующие датчикам) координаты ( $X_t, X_\delta$ ) и скорости ( $V_t, V_\delta$ ) объекта (используется интерполяция по времени);
- расчет новых скоростей движения телескопа  $v_t$  и  $v_\delta$  на основе разностей инструментальных координат  $(x-X)_{t, \delta}$  и скоростей  $(v-V)_{t, \delta}$  телескопа и объекта (этот расчет отличается для фаз наведения и сопровождения);
- выдача рассчитанных скоростей  $v_t$  и  $v_\delta$  в приводы телескопа.

Алгоритм расчета скоростей в фазе наведения имеет целью как можно быстрее вывести телескоп в место нахождения объекта, причем так, чтобы скорость движения телескопа в момент окончания наведения совпадала со скоростью движения объекта. Упрощенно алгоритм наведения по каждой оси можно представить как разгон в направлении объекта, равномерное движение с большой скоростью и торможение до скорости объекта (рис. 2). Фаза наведения заканчивается, как только указанная цель достигнута с некоторой заранее заданной точностью (обычно порядка нескольких угловых минут). Во время последующей фазы сопровождения коррекция скоростей движения телескопа производится гораздо более плавно, чтобы исключить резкие смещения объекта в поле зрения измерительной системы. Во многих случаях хорошо работает простейший вариант  $v_{t, \delta} = V_{t, \delta}$  (установить скорости движения телескопа равными текущим скоростям движения объекта).

О расположении купола телескопа АЗТ-33ИК при наблюдениях ТГК. Во всех сеансах траектория ТГК проходила вблизи зенита, с запада на восток. В этой ситуации скорость вращения купола оказывается недостаточной, чтобы обеспечить наблюдение объекта в течение всего пролета. Поэтому до начала наблюдений купол устанавливался в направлении

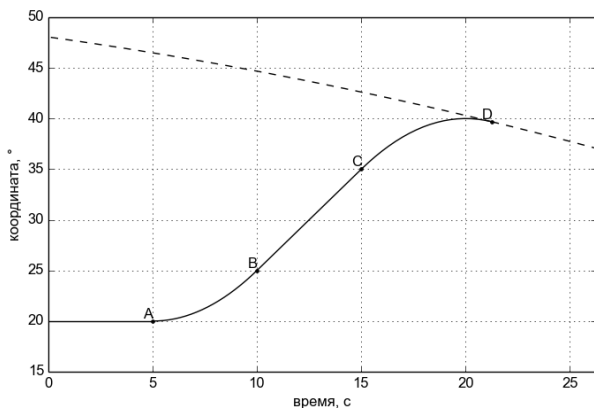


Рис. 2. Иллюстрация процесса наведения телескопа по одной оси. Разгон (участок А–В), движение на максимальной скорости (В–С), торможение до скорости объекта (С–D). Изменение координаты объекта показано штриховой линией

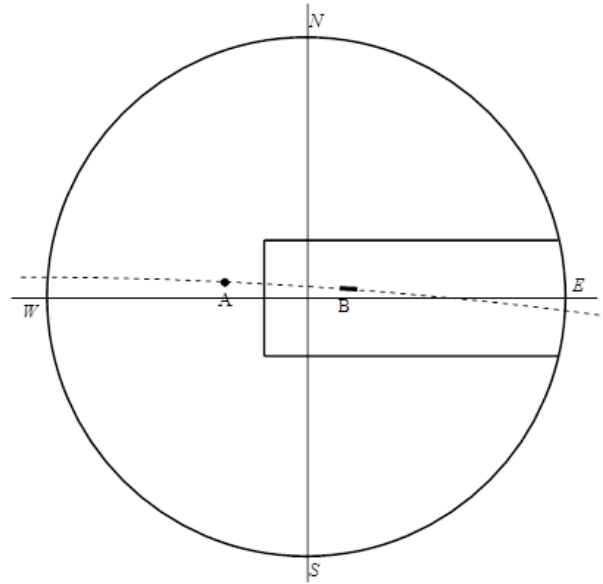


Рис. 3. Один из вариантов расположения купола телескопа АЗТ-33ИК при наблюдениях ТГК (вид сверху)

вдоль траектории движения ТГК, т. е. на запад или на восток (в зависимости от того, на каком участке траектории, до зенита или после, происходило включение бортовых двигателей) и оставался неподвижным в процессе наблюдений. На рис. 3 жирными линиями схематично показан купол и просвет купола (вид сверху), штриховой линией — проекция траектории пролета ТГК. В некоторых сеансах сопровождение ТГК телескопом по эфемериде могло начинаться «вслепую», когда объект еще закрыт куполом (точка А). Благодаря этому телескоп успевал выйти в режим сопровождения к моменту включения двигателей (участок В).

## ПОЛУЧЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Задачей наблюдений была регистрация оптического сигнала от выхлопной струи двигателя ТГК в видимом и инфракрасном диапазонах, определение геометрических и яркостных характеристик струи в зависимости от времени. Практически во всех сеансах КЭ применялась широкоугольная оптоэлектронная система, часто дополнительно применялась основная система видимого диапазона. Система ИК-диапазона применялась в сеансах 22–25 апреля 2011 г., при этом оптический сигнал зарегистрирован не был. Это может быть связано как с неточностью сопровождения ТГК, т. е. с непопаданием в узкое поле зрения ИК-системы (1 угл. мин), так и с достаточно низкой чувствительностью самой системы регистрации — порог регистрации (отношение сигнал/шум = 3) для камеры составляет –1 зв. величину в фотометрической полосе N (8–13.5 мкм) за экспозицию в 1 с.

Экспозиции в различных сеансах составляли для широкоугольной системы 0.2–0.5 с, для основной системы 0.05–1.0 с (большие экспозиции использовались при наличии некоторой облачности). Выбор определяется практикой наблюдений и является компромиссом между стремлением, с одной стороны,

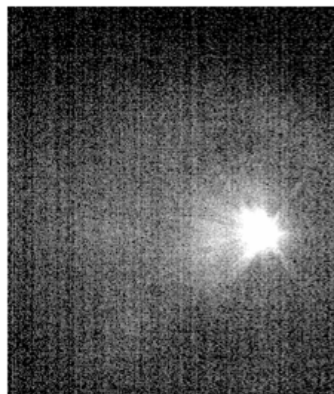
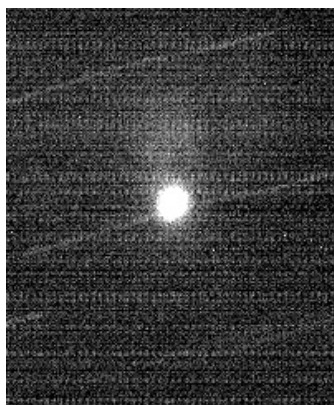


Рис. 4. Слабоконтрастное облако в момент включения двигателя ТГК в широкоугольной (вверху) и основной оптоэлектронных системах

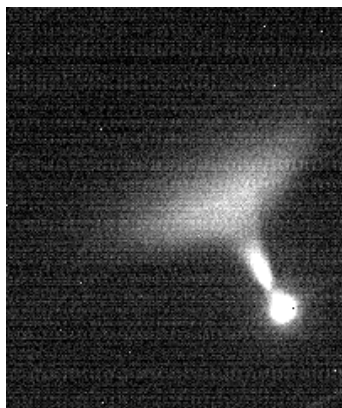


Рис. 5. Примеры изображений «струи», сопровождающей процесс продувки двигателя ТГК в широкоугольной (вверху) и основной оптоэлектронных системах

получить достаточно хороший сигнал от слабконтрастных протяженных объектов, с другой — наблюдать динамику процесса с высоким временным разрешением и уменьшить размазывание изображений за счет погрешностей сопровождения. Для системы ИК-диапазона использовался режим сумми-

рования 20–25 кадров при экспозиции одиночного кадра 200–250 мкс.

При наблюдениях в основной системе в некоторых случаях устанавливался оптический фильтр R.

Получаемые изображения записывались на диск в формате FITS, также в заголовок каждого кадра записывался момент начала экспозиции. Временная синхронизация осуществлялась с помощью системы синхронизации на базе GPS-приемника. Точность временной привязки кадров — не хуже 20 мс.

На полученных изображениях в различных сеансах удастся увидеть различные оптические эффекты, как происходящие в момент включения бортового двигателя ТГК (рис. 4), так и сопровождающие процесс продувки топливной системы двигателя после его выключения (рис. 5). Обобщенные характеристики и параметры полученных оптических сигналов приведены в [Еселевич, Клунко, 2016].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для регистрации оптического сигнала от ТГК «Прогресс» в КЭ «Радар-Прогресс» использовался телескоп АЗТ-33ИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН. Технические параметры телескопа и система управления позволяют сопровождать КА на низкой орбите во время его пролета в зоне видимости пункта наблюдения.

Основное требование, предъявляемое к оптическому телескопу для наблюдений КА на низкой орбите, — это возможность точного наведения и сопровождения по расчетной эфемериде объекта, скорость движения которого относительно звезд на небе может достигать 1.5 °/с. Алгоритм наведения и сопровождения должен быть реализован таким образом, чтобы наблюдаемый КА оставался в поле зрения телескопа, а его перемещения были плавными и не сопровождались резкими скачками. В этом случае имеется возможность регистрации оптического сигнала от КА и других оптических эффектов во время КЭ. Расчетная траектория движения не является абсолютно точной, поэтому требуется возможность оперативной коррекции положения КА в поле зрения телескопа путем задания небольших дополнительных скоростей движения и смещения относительно расчетной эфемериды. Разработанный алгоритм наведения и сопровождения КА, реализованный для управления монтировкой телескопа АЗТ-33ИК, позволил проводить оптические наблюдения во время КЭ «Радар-Прогресс» в штатном режиме, получая детальные изображения области вокруг ТГК на интервале времени около одной минуты. Использование камер с электронным затвором и быстрым считыванием кадров позволяет минимизировать размазывание изображения, связанное с остаточной неточностью сопровождения КА и возможными колебаниями трубы телескопа, возникающими при его движении.

Во многих сеансах наблюдений были зарегистрированы оптические эффекты, связанные с включением бортового двигателя ТГК, а также сопровождающие процесс продувки топливной системы двигателя после его выключения. Полученные изображения могут быть использованы для независимого контроля геометрии эксперимента и анализа физических условий во внешней среде.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Десяткин А.В., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Верещагина И.А. Программные пакеты «АПЕКС-Ю» и «АПЕКС-И» для обработки астрономических ПЗС-наблюдений // *Астрономический вестник*. 2010. Т. 44, № 1. С. 74–87.

Еселевич М.В., Хахинов В.В., Клунко Е.В. Параметры оптических сигналов на телескопе АЗТ-33ИК, зарегистрированных в активном космическом эксперименте «Радар–Прогресс» // *Солнечно-земная физика*. 2016. Т. 2, № 3. С. 24–32.

Камус С.Ф., Тергоев В.И., Папушев П.Г. и др. Широкодиапазонный астрономический телескоп // *Оптический журнал*. 2002. Т. 69, № 9. С. 84–87. DOI: 10.1364/JOT.69.000674.

Клунко Е.В., Еселевич М.В. Распределенная система управления астрономическими ПЗС-камерами // *Солнечно-земная физика*. 2012. Вып. 20. С. 139–145.

Лебедев В.П., Хахинов В.В., Габдуллин Ф.Ф. и др. Исследование методами радиозондирования характеристик плазменного окружения низкоорбитальных космических аппаратов // *Космонавтика и ракетостроение*. 2008. № 50 (1). С. 51–60.

Тергоев В.И., Еселевич М.В., Клунко Е.В. и др. Разработка и применение ИК-камеры для регистрации тепловых портретов космических аппаратов // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева*. 2011. Вып. 6 (39).

Хахинов В.В., Потехин А.П., Лебедев В.П. и др. Результаты дистанционного зондирования ионосферных возмущений в активных космических экспериментах «Радар–Прогресс» // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2012. Т. 9, № 3. С. 199–206.

Хахинов В.В., Потехин А.П., Лебедев В.П. и др. Некоторые результаты активных космических экспериментов «Плазма–Прогресс» и «Радар–Прогресс» // *Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнева*. 2013. Спец. вып. 5 (51). С. 160–163.

Potekhin A.P., Khakhinov V.V., Medvedev A.V., et al. Active Space Experiments with the use of the transport spacecraft “Progress” and Irkutsk IS Radar // *PIERS Proc. Moscow*, 2009. P. 223–227.

URL: <http://www.tpointsw.uk/index.htm> (дата обращения 1 июля 2016 г.).

## REFERENCES

Devyatkin A.V., Gorshanov D.L., Kupriyanov V.V., Vereshchagina I.A. Apex I and Apex II software packages for Processing astronomical CCD observations. *Astronomicheskii vestnik* [Solar System Research]. 2010, vol. 44, no. 1, p. 68. (In Russian).

Eselevich M.V., Khakhinov V.V., Klunko E.V. Parameters of the optical signals registered with the AZT-33IK telescope in the “Radar-Progress” active space experiment. *Solnechno-zemnaya fizika* [Solar-Terrestrial Physics]. 2016, vol. 2, no. 3, pp. 24–32. (In Russian).

Kamus S.F., Tergoev V.I., Papushev P.G., et al. Wide-range astronomical telescope. *Opticheskii zhurnal* [J. Opt. Technol.]. 2002, vol. 69, iss. 9, pp. 674–676. DOI: 10.1364/JOT.69.000674. (In Russian).

Khakhinov V.V., Potekhin A.P., Lebedev V.P., et al. Results of remote sensing of ionospheric disturbances in active space experiments “Radar–Progress”. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of the Earth remote sensing from the space]. 2012, vol. 9, iss. 3, pp. 199–206. (In Russian).

Khakhinov V.V., Potekhin A.P., Lebedev V.P., et al. Some results of active space experiments “Plasma–Progress” and “Radar–Progress”. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aëro-kosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of M.F. Reshetnev Siberian State Aerospace University]. 2013, special iss. 5 (51), pp. 160–163. (In Russian).

Klunko E.V., Eselevich M.V. Distributed control system for astronomical CCD cameras. *Solnechno-zemnaya fizika* [Solar-Terrestrial Physics]. 2012, vol. 20, pp. 139–145. (In Russian).

Lebedev V.P., Khakhinov V.V., Gabdullin F.F., et al. Study of characteristics of plasma environment of low orbit spacecrafts using radio sounding methods. *Kosmonavtika i raketostroenie* [Cosmonautics and Rocket Science]. 2008, iss. 50 (1), pp. 51–60. (In Russian).

Potekhin A.P., Khakhinov V.V., Medvedev A.V., et al. Active space experiments with the use of the transport spacecraft “Progress” and Irkutsk IS Radar. *PIERS Proc. Moscow*, 2009, pp. 223–227.

Tergoev V.I., Eselevich M.V., Klunko E.V., et al. Design and application of the IR camera for registration of spacecraft thermal portraits. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aëro-kosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F. Reshetneva* [Bulletin of M.F. Reshetnev Siberian State Aerospace University]. 2011, vol. 6 (39), pp. 165–169. (In Russian).

URL: <http://www.tpointsw.uk/index.htm> (accessed July 1, 2016).