

УДК 524.7

Модернизация и автоматизация 70-см телескопа АЗТ-8

С.Г. Сергеев, С.А. Климанов, Н.Н. Охмат, Г.А. Сивцов

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
sergeev@crao.crimea.ua, sergdave2004@mail.ru

Поступила в редакцию 24 декабря 2009 г.

Аннотация. В начале 2000-х гг. была произведена модернизация 70-см телескопа АЗТ-8 Крымской астрофизической обсерватории. Были заменены устаревшие и разработаны новые узлы оборудования телескопа. Создание специальной управляющей программы дало возможность наводиться на объекты в автоматическом режиме. В результате управление телескопом существенно упростилось, а эффективность использования наблюдательного времени значительно возросла.

MODERNIZATION AND AUTOMATION OF THE 70-CM TELESCOPE AZT-8, *by S.G. Sergeev, S.A. Klimanov, N.N. Ohmat, G.A. Sivtsov.* In the early 2000s, the modernization of the 70-cm telescope “AZT-8” of the Crimean Astrophysical Observatory has been carried out. New units of the telescope are developed and outdated units are renewed. A special control program is created to allow the telescope to point automatically. As a result, it is much easier to control the telescope and the efficiency of observations has significantly increased.

Ключевые слова: оптические телескопы, ПЗС-фотометрия, автоматизация, программное обеспечение

1 Введение

Телескоп АЗТ-8 (рис. 1) Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) был построен в 1964 г. Ленинградским оптико-механическим объединением (ЛОМО). Его главное зеркало диаметром 70 см и фокусным расстоянием 282 см изготовлено в форме парабооида. Размер пригодного для наблюдений в главном фокусе поля составляет около 10 угловых минут. Сначала телескоп использовался в обсерватории, расположенной на горе Кошка в Симеизе, главным образом для наблюдений симбиотических и двойных звезд методами фотоэлектрической фотометрии и поляриметрии. В 1977 г. он был перевезен в п. Научный, где с его помощью производились исследования различных типов переменных звезд методами многоцветной фотометрии, источников рентгеновского излучения и атмосферной экстинкции.

К концу XX в. оборудование телескопа в значительной мере физически и морально устарело. Это выражалось в неточной и ненадежной работе привода часового ведения, отсутствии датчиков углового положения телескопа по осям α и δ и современного светоприемного оборудования. Также отсутствовали компьютеры и доступ к локальной сети КрАО и Интернету.

В 2001 г. при помощи государственного университета штата Огайо (США) на телескопе АЗТ-8 в главном фокусе была впервые установлена ПЗС-камера AP7r для наблюдений в фильтрах B , V ,

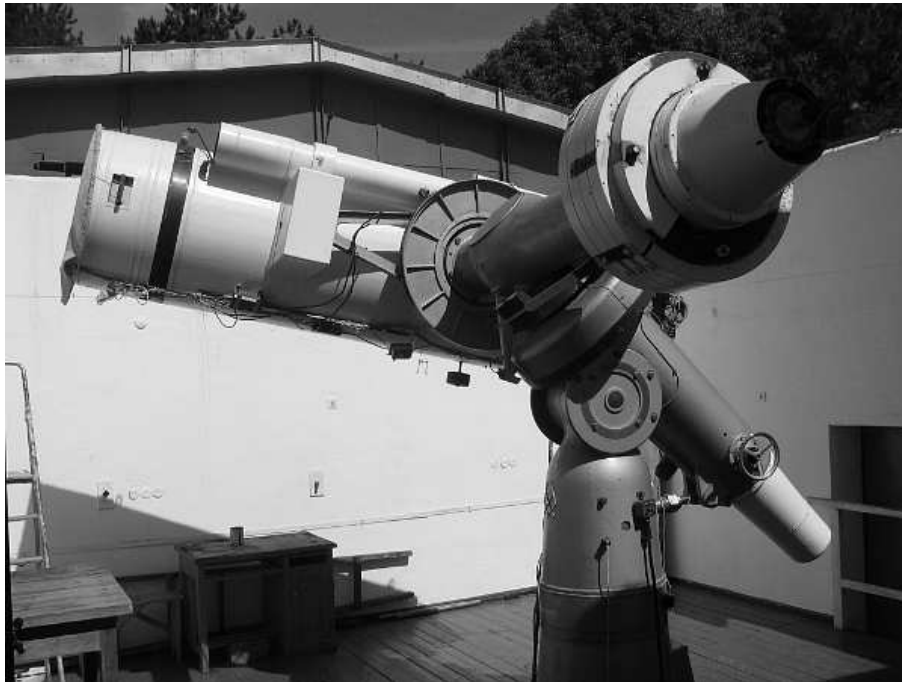


Рис. 1. Общий вид 70-см телескопа АЗТ-8 Крымской астрофизической обсерватории

R, I. С декабря 2001 г. началось проведение интенсивного фотометрического мониторинга активных ядер галактик (АЯГ). Для выполнения этой задачи потребовалась значительная модернизация и автоматизация оборудования телескопа. Работа выполнялась под руководством одного из авторов статьи старшего научного сотрудника КраО С.Г. Сергеева при финансовой поддержке фонда “US Civilian Research and Development Foundation” (США). В модернизации телескопа также приняла участие группа сотрудников Астрономического института С.-Петербургского государственного университета (Россия) под руководством В.М. Ларионова.

2 Основные моменты модернизации

В первую очередь был доработан и модернизирован блок управления приводом часового ведения. С этой целью был разработан высокоточный и высокостабильный синтезатор частоты вращения двигателя часового привода, а также доработан его блок питания (введена защита от перегрузок, улучшено его охлаждение).

В настоящий момент на АЗТ-8 в основном эксплуатируется ПЗС-камера AP7p, установленная в прямом фокусе, размером 512×511 пикселей и полем зрения 15×15 минут дуги. Для камеры изготовлена турель фильтров. Колесо турели имеет шесть окон, в которых установлены фильтры *B, V, R, R1, I* и кварцевое стекло. Кривые пропускания фильтров приводятся в статье Дорошенко и др. (2005). Фильтр *R1* близок к фильтру *I* фотометрической системы Кузинса, а остальные примерно соответствуют *B, V, R, I* фильтрам системы Джонсона (описание стандартных фотометрических систем см. в обзоре Бесселя, 2005). Имеется датчик начального положения турели, а ее вращение обеспечивается шаговым двигателем. Разработан электронный блок, обеспечивающий быструю и точную смену фильтров турели. Этот блок управляется через последовательный порт компьютера. Для управления используются два бита этого порта, причем один бит служит для управления шаговым двигателем, а другой – для опроса состояния датчика начального положения. Таким образом, смена фильтров во время наблюдений происходит автоматически.

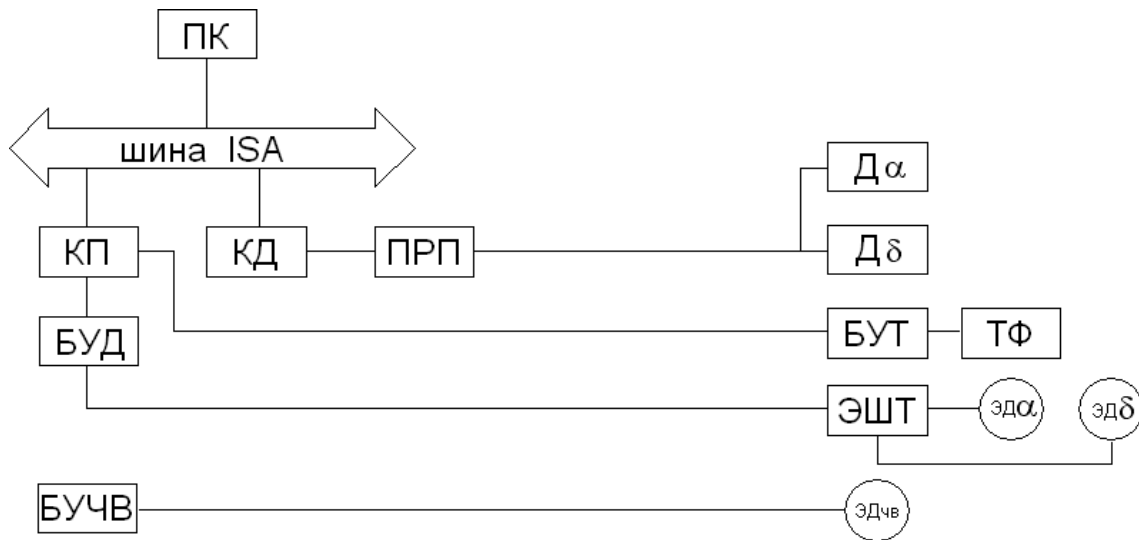


Рис. 2. Функциональная схема системы автоматического наведения телескопа АЗТ-8

Для осуществления возможности автоматического наведения телескопа под управлением компьютера оси α и δ были оснащены цифровыми оптическими датчиками CP-850 фирмы "Computer Optical Products, Inc." (США). Кроме того, был разработан блок управления двигателями телескопа и соответствующее программное обеспечение к нему. Блок управления, подключенный к параллельному порту компьютера, управляет двигателем наведения телескопа и электромеханическими тормозами на осях α и δ .

На рис. 2 показана функциональная схема системы автоматического наведения телескопа. В ней использованы следующие обозначения: ПК – персональный компьютер; КП – контроллер последовательного и параллельного портов; КД – контроллер датчиков CP-850; ПРП – приемопередатчики; БУД – блок управления двигателями наведения; БУЧВ – блок управления часовым ведением; $D\alpha$ – датчик углового перемещения по оси α телескопа; $D\delta$ – датчик углового перемещения по оси δ телескопа; БУТ – блок управления турелью фильтров; ТФ – турель фильтров; ЭШТ – электрошкаф управления телескопом; ЭД α – электродвигатель наведения телескопа по оси α ; ЭД δ – электродвигатель наведения телескопа по оси δ ; ЭДчв – электродвигатель часового ведения телескопа.

Для обеспечения автоматического управления телескопом разработана достаточно сложная управляющая программа. Для того, чтобы управление телескопом было надежным и безаварийным, эта программа учитывает различные факторы, такие как: слишком высокая или слишком низкая скорость движения телескопа после подачи команды на движение, свободный выбег телескопа после выключения двигателя по данной оси, поправки координат телескопа по осям α и δ , возникающие вследствие механических люфтов, гнуптий и кручений конструкции телескопа и т. п. Введены блокировки движений, предотвращающие столкновение элементов телескопа с колонной, на которой он установлен. При автоматическом наведении по оси α грубая скорость наведения составляет 1.5° дуги в секунду, а тонкая – около 3 угловых минут в секунду; по оси δ грубая скорость 0.67° дуги в секунду, тонкая – 22 секунды дуги в секунду.

При наличии ограничений на положение телескопа (см. ниже) программа заранее просчитывает безопасный путь телескопа от начального до конечного положения. Схема наведения при этом следующая: (1) отжим тормозов, (2) грубое наведение, (3) зажим тормозов, (4) тонкое наведение, (5) звуковой сигнал и выдача сообщения об успешном наведении.

Настройка программы осуществляется путем редактирования ряда текстовых, а также двоичных файлов в формате FITS (см. Уэллс, 1981). Для настройки грубого и тонкого наведения теле-

Таблица 1. Параметры для настройки наведения телескопа по данной оси

Параметр	Тип	Описание
Axis	Integer	Номер оси телескопа: 1 – альфа, 2 – дельта.
Velocity	Integer	Тип скорости наведения: 1 – тонкое, 2 – грубое.
VNom	Real	Номинальная скорость движения телескопа по данной оси (градусов/сек).
VMax	Real	Максимальная скорость движения телескопа (градусов/сек), при достижении которой двигатель по данной оси будет отключен и не включится до тех пор, пока скорость не опустится ниже VMin (см. ниже).
VMin	Real	Если максимальная скорость превышена, то двигатель не включится (см. выше), пока скорость не опустится ниже VMin (градусов/сек).
VCrit	Real	Критическая скорость движения по данной оси (градусов/сек), при превышении которой наведение телескопа прерывается, двигатели отключаются, тормоза по обеим осям зажимаются и выводится сообщение об ошибке наведения.
VTooLow	Real	Критическая скорость движения по данной оси (градусов/сек), ниже которой происходит прерывание наведения и т. д. (см. выше).
VRev	Real	Максимально допустимая скорость движения (градусов/сек), при которой возможна смена направления вращения двигателя.
Tol	Real	Требуемая точность (допуск) наведения по данной оси (градусы).
VTimeMin	Real	Минимальный интервал времени (сек), необходимый для измерения скорости движения по данной оси.
VTimeMax	Real	Максимальный интервал времени (сек), необходимый для измерения скорости движения по данной оси. Скорость не может измеряться реже, чем раз за VTimeMax секунд.
VAngMin	Real	Минимальное изменение угла (градусы), требуемое для измерения скорости движения по данной оси.
DTStart	Real	Проверка величины скорости (см. параметры VMax, VCrit и VTooLow) начнется не ранее, чем через DTStart секунд после включения двигателя.
DTStop	Real	Задержка в секундах после достижения требуемой точности наведения $\pm Tol$, необходимая для проверки того, что телескоп остановился и не вышел из области допуска $\pm Tol$.
TolStop	Real	Телескоп считается остановившимся по данной оси, если спустя время DTStop он не сместился по этой оси более, чем на TolStop градусов. Если при этом достигнута необходимая точность наведения $\pm Tol$, то наведение по данной оси считается успешным.
StatPos	Real	Штатное положение телескопа по данной оси, используемое для парковки телескопа нажатием кнопки "Parking".
StatTol	Real	Референтная метка датчика углового положения должна располагаться не далее, чем на StatTol градусов (в сторону увеличения) от штатного положения StatPos. Если при поиске этой метки (операция "Homing") телескоп проходит больший угол, то эта операция прерывается.
HomePos	Character	Координата по данной оси, соответствующая референтной метке датчика углового положения в формате градусы, минуты, секунды (ddd:mm:ss). Изменяя ее, можно вводить поправку по данной оси.
VDamp	Character	Имя файла, содержащего таблицу углов, на которые перемещается телескоп по данной оси от момента выключения двигателя по этой оси в зависимости от скорости движения в момент выключения. Эта информация служит для учета механической инерции.
DLimMin	Real	DLimMin и DLimMax – это угловые расстояния (градусы), служащие для уменьшения количества включений и выключений двигателя по данной оси, если наложены ограничения на положение телескопа (колонна телескопа, зенитное расстояние и т. п.).
DLimMax	Real	См. выше.

скопа по осям α и δ используются соответственно четыре текстовых файла, каждая строка которых имеет вид:

<Параметр> = <Значение параметра> / <Комментарии>

Для лучшего понимания принципов работы программы описание этих параметров дано в таблице 1.

Прогнозируемая длина свободного пробега телескопа по данной оси после выключения двигателя задается в виде таблицы в текстовом файле, состоящей из двух колонок: скорости движения на момент выключения двигателя и собственно длины пробега.

Поправки по часовому углу t и склонению δ задаются в виде двумерных изображений в формате FITS, в которых первая ось соответствует значениям t , а вторая – δ .

Ограничения на положение телескопа также задаются в виде двумерного изображения в формате FITS размером 360×360 пикселей. Первая координата этого изображения соответствует часовому углу от 0 до 359 градусов, а вторая – склонению от -90 до $+269$ градусов (склонение больше 90 градусов относится к переложенному положению телескопа к западу от колонны). Каждому положению (t, δ) телескопа, где t и δ округляются до целых градусов, соответствует некоторое 16-битное число. Если это число равно нулю, то ограничений на данное положение нет. Если в числе есть биты, равные 1, то на это положение наложены ограничения, которые описаны в отдельном текстовом файле, состоящем из строк следующего формата:

<Тип ошибки> <Текст сообщения об ошибке>

Номер строки этого файла соответствует номеру бита в числе (если биты считать от единицы). Тип ошибки может быть 0, 1 или 2. Если объект, на который наводится телескоп, расположен в такой точке (t, δ) , где тип ошибки равен 0, то данная ошибка игнорируется, если 1 – то выдается предупреждение, но наведение телескопа продолжается, если 2 – то появляется сообщение об ошибке, раздаются прерывистые звуковые сигналы, а наведение телескопа на такой объект блокируется. Кроме того, программа постоянно контролирует текущие координаты телескопа и при необходимости выдает <Текст сообщения об ошибке> в строке состояния овального окна, где отображаются текущие координаты (см. ниже). В настоящее время программа контролирует ограничения, описанные в таблице 2.

Таблица 2. Описание ограничений для наведения телескопа

Номер бита	Тип ошибки	Текст сообщения об ошибке	Пояснения
1	2	Mechanical limitations	Чтобы нижний конец трубы телескопа не ударился о поддерживающую колонну
2	2	Too low zenith distance	Чтобы труба не опустилась ниже опасного предела по высоте над горизонтом
3	1	Vignetting from a dome	Чтобы не было виньетирования от стен павильона, в котором расположен телескоп

При наведении телескопа на объект программа заранее рассчитывает прогнозируемую траекторию наведения, чтобы избежать попадания телескопа в “запретные” области с типом ошибки 2 (см. рис. 3). В процессе наведения прогнозируемая траектория уточняется. Такой алгоритм “обхода препятствий” заключается в расчете определенного количества шагов по осям Δt_i и $\Delta \delta_i$ ($i = 1, \dots, n$), начиная с текущего положения телескопа, таким образом, чтобы на пути движения не было помех, а значение n было минимальным. На каждом шаге движение происходит либо только по одной оси, либо по обеим осям сразу, если нет угрозы попадания в запретную область координат. Пример прогнозируемого наведения телескопа показан на рис. 3.

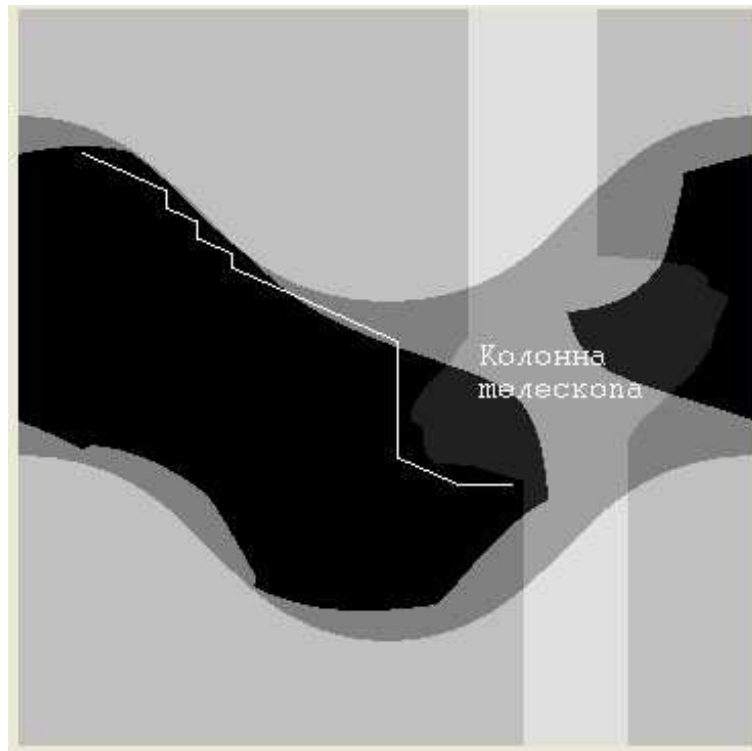


Рис. 3. Битовая карта, задающая ограничения на положения телескопа. Яркость соответствует 16-ти битовому целому числу (см. текст). Горизонтальная ось изображения соответствует часовому углу от 0 до 359 градусов, а вертикальная – склонению от -90 до $+269$ градусов. Овалообразная область, обозначенная как “колонна телескопа”, соответствует области ограничения наведения из-за столкновения трубы телескопа с колонной. Область выше и ниже двух синусоид – области ограничения из-за зенитного расстояния. Область черного цвета означает отсутствие виньетирования от башни телескопа. Белой линией показан пример прогнозируемой траектории наведения телескопа

3 Процесс наблюдений на телескопе после проведения модернизации

При загрузке управляющего компьютера его время синхронизируется с всемирным и стартует программа наведения TELESCOPE POINTING. В окне программы имеются поля для ввода экваториальных координат: часового угла, прямого восхождения и склонения, а также несколько кнопок. Программа позволяет наводиться в заданное положение либо по часовому углу и склонению (при выключенном часовом ведении), либо по прямому восхождению и склонению (при включенном часовом ведении). Для старта процесса наведения служит кнопка “Point”, для установки начала отсчета датчиков положения телескопа – кнопка “Homing”, для приведения телескопа в штатное положение – кнопка “Parking”, для экстренного прекращения движения телескопа – кнопка “Abort” (более подробно см. ниже). Нажатием на кнопку “Info” можно вывести разнообразную информацию, полезную для наблюдателя: время начала и конца наблюдений, моменты захода и восхода Солнца и Луны на текущую дату, высоту наблюдаемого объекта над горизонтом и др. Кроме того, в окне программы наведения высвечивается продолжительность времени, в течение которого выбранный объект доступен для наблюдений, или оставшееся время до того момента, когда он станет доступным для наблюдений. Для индикации текущих координат α и δ телескопа служит овальное зеленое окно в правом нижнем углу экрана. В верхней строке этого окна отображается часовой угол (рис. 4).



Рис. 4. Окно программы наведения TELESCOPE POINTING и индикация текущих координат

После загрузки компьютера наблюдатель включает блок управления телескопом и запускает программу PHOTOB, предназначенную для управления процессом наблюдений. Для чтения ПЗС-камеры и визуализации получаемых изображений PHOTOB использует стандартную программу MaxIm DL (Блэкуэлл, 2005).

В штатном положении между наблюдениями труба телескопа направлена на север и в горизонт. После включения питания требуется установка начала отсчета положения телескопа (референтной метки датчика углового положения). Это может быть сделано как вручную, так и автоматически (для этого служит кнопка “Homing”). При установке нуля-пункта телескоп должен пройти через отметку 60° по δ , когда труба повернута на север, и через меридиан по α . После этой процедуры наблюдатель включает часовое ведение и выставляет координаты объекта. Для этого достаточно либо просто набрать координаты в соответствующих полях окошка программы TELESCOPE POINTING, либо выбрать объект с заранее заданными координатами из базы данных, предлагаемой программой PHOTOB. Координаты из базы автоматически пересчитываются на текущую эпоху и пересылаются в программу управления телескопом (посредством механизма обмена данными между компьютерными задачами).

При вводе координат управляющая программа автоматически выберет оптимальный путь движения телескопа так, чтобы нижний конец трубы не ударился о поддерживающую колонну и труба не опустилась ниже опасного предела по высоте над горизонтом. Если траектории, удовлетворяющей этим критериям, не существует, то в зеленом окне в правом нижнем углу экрана появится предупреждающее сообщение (см. таблицу 2) и телескоп наводиться не будет. Кроме того, труба телескопа может оказаться на такой высоте, при которой будет присходить виньетирование поля зрения от стен или крыши павильона. В таких случаях для наблюдения следует выбрать другой объект.

При наведении телескопа на восходящие объекты труба телескопа при положении к востоку от колонны может упереться в нее, поэтому в подобном случае необходимо перейти в режим наблюдений к западу от колонны. Для этого служит кнопка “West” в окошке программы TELESCOPE

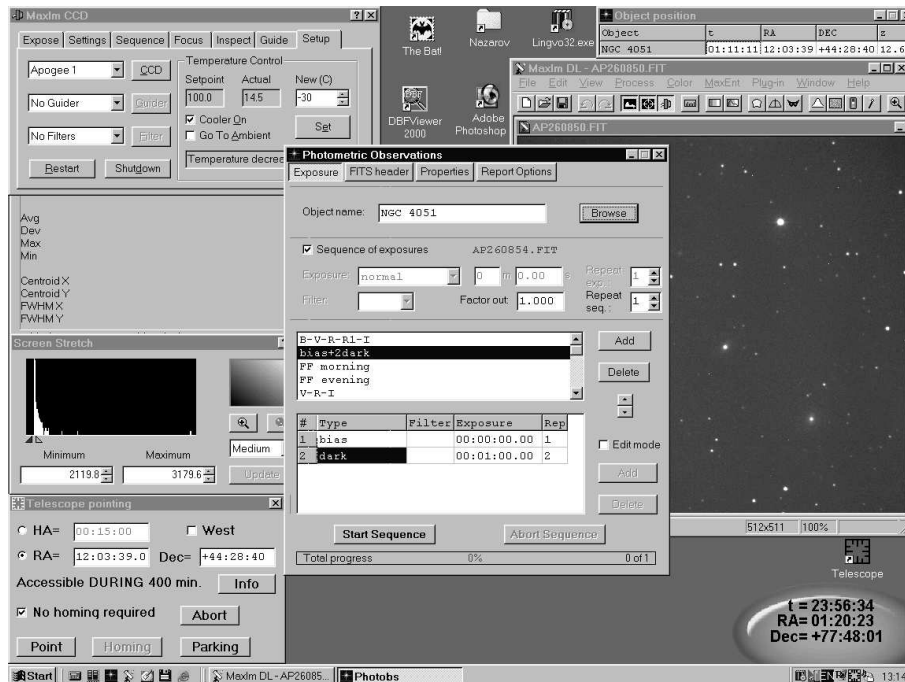


Рис. 5. Копия экрана монитора с окошками программ PHOTOBITS и TELESCOPE POINTING

POINTING. При этом координата δ зеркально отображается относительно полярной оси, а координата α изменяется на 12 часов.

После нажатия кнопки “Point” телескоп начнет наводиться на объект, а его непрерывно изменяющиеся текущие координаты будут отображаться в зеленом окне в правом нижнем углу монитора. Когда наведение закончено, программа выдает окошко с надписью “Pointing Done” и воспроизводит характерный звуковой сигнал. Точность автоматического наведения составляет около двух угловых минут дуги, поэтому более точное наведение наблюдатель осуществляет вручную с пульта тонкого движения телескопа, контролируя при этом координаты и изображение объекта на мониторе компьютера.

В случае появления в процессе наведения какой-либо неисправности, раздается громкий звуковой сигнал (сирена). Для прекращения движения телескопа служит кнопка “Abort” в окне программы TELESCOPE POINTING.

После наведения наблюдатель производит фокусировку изображения и приступает к экспонированию объектов. Стандартное время экспозиций в *B*, *V*, *R*, *R1*, *I* фильтрах равно 60, 40, 30, 25 и 40 секундам соответственно. Их можно пропорционально изменять в зависимости от яркости объекта. Также имеется возможность получать кадры с 0-АЦП (ноль аналогово-цифрового преобразователя или bias), кадры с темновым током и кадры плоского поля. Копия экрана монитора с окошками программ PHOTOBITS и TELESCOPE POINTING показана на рис. 5

В конце наблюдений необходимо вернуть телескоп в штатное положение (парковка). Для этого достаточно нажать кнопку “Parking” в окне программы наведения, и телескоп автоматически ляжет в нужное положение.

4 Заключение

В начале 2000-х гг. на 70-см телескопе АЗТ-8 была установлена ПЗС-камера AP7p, разработан электронный блок для смены фильтров, модернизирован привод часового ведения и создан блок управ-

ления двигателями телескопа. Разработано программное обеспечение, позволяющее управлять движением телескопа с персонального компьютера. В результате управление телескопом существенно облегчилось, улучшилось качество наблюдательного материала, а также значительно повысилась эффективность использования наблюдательного времени.

В настоящее время телескоп АЗТ-8 в основном используется для проведения фотометрических наблюдений избранных активных ядер галактик. Кроме того, на нем наблюдаются такие объекты, как сверхновые, молодые звезды до главной последовательности, источники рентгеновского излучения, послесвечение космических гамма-всплесков и др.

Работы по модернизации телескопа выполнены при частичной поддержке гранта номер UP1-2116 фонда "US Civilian Research and Development Foundation" (CRDF).

Литература

- Бессель (Bessell M.S.) // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* 2005. V. 43. Issue 1. P. 293.
Блэкуэлл и др. (Blackwell T., Silver I.M., Wood M.A.) // *International Amateur-Professional Photoelectric Photometry Communication.* 2005. №. 101. P. 11.
Дорошенко В.Т., Меркулова Н.И., Сергеева Е.А., Голубинский Ю.В., Проник В.И., Охмат Н.Н. // *Астрофизика.* 2005. Т. 48. С. 187.
Уэллс и др. (Wells D.C., Greisen E.W., Harten E.H.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1981. V. 44. P. 363.