

А. П. Видьмаченко, А. В. Мороженко, А. С. Делец,
П. В. Неводовський, М. Г. Сосонкін, Ю. С. Іванов,
В. М. Андрук

Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ

Цифровой панорамный поляриметр для наземного сопровождения космического эксперимента «Планетный мониторинг»

Головна астрономічна обсерваторія НАН України спільно з Інститутом космічних досліджень РАН в рамках комплексної програми «Планетний моніторинг» бере участь у міжнародному космічному експерименті. Описується комплекс астрономічних приладів під назвою «Цифровий панорамний поляриметр» (ЦПП), призначений для наземного супроводу небесних об'єктів у рамках космічного експерименту «Планетний моніторинг».

ВВЕДЕНИЕ

Поляризаційний метод вивчення небесних об'єктів являється дуже ефективним засобом для визначення їх оптичних і фізичних параметрів. Якщо фотометричні дослідження планетних атмосфер дають можливість в загальному говорити про їх оптичні властивості [4], то поляриметричні дослідження дозволяють з високою ступенем точності визначати як показник заломлення, так і функцію розподілу частини хмарного шару за розміром. Крім цього даний вид досліджень дає можливість визначати орієнтацію аерозольних частинок, кількість газу над хмарним шаром, дослідити оптичну неоднорідність диска планети і др. [3].

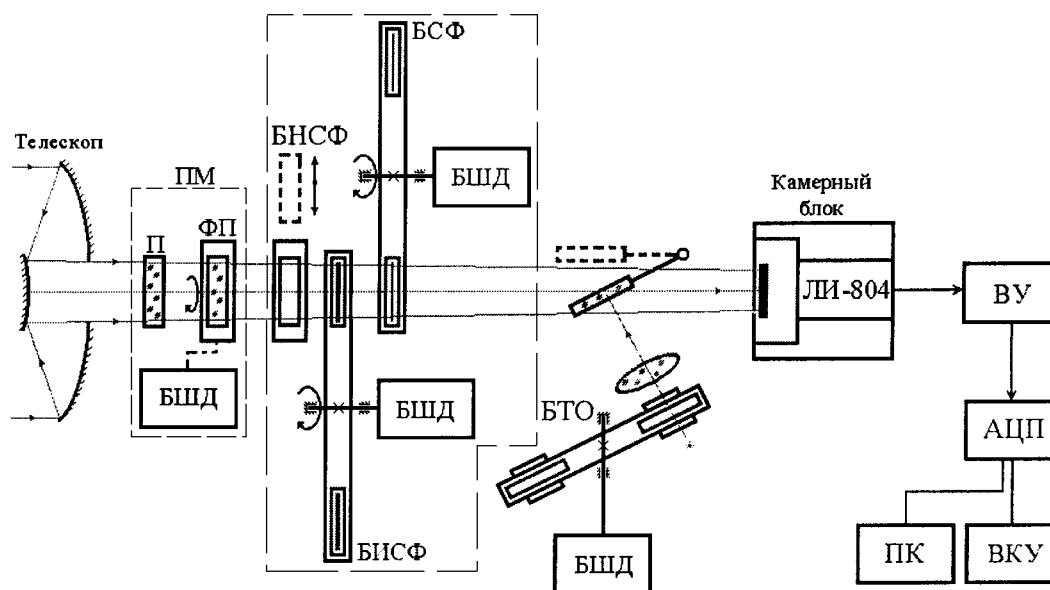
В даний час при проведенні поляризаційних досліджень різноманітних протяжених об'єктів, оптичне випромінювання від яких має просторово-часову нестабільність, широко використовують вимірні пристрої, називані відеополяриметрами або панорамними поляриметрами. Ці пристрої мають високу швидкість дії, дозволяють обробляти отриману інформацію в реальному масштабі часу і представляти її в вигляді поляриметричних зображень на екрані відеомонітора [5]. В Головної астрономічної обсерваторії НАН України було створено експериментальний зразок астрономіче-

ського комплексу пристроїв під назвою «Цифровий панорамний поляриметр» (ЦПП).

ГАО НАН України разом з ІКИ РАН в рамках комплексної програми «Планетний моніторинг» бере участь у Міжнародному космічному експерименті, призначеному для вирішення ряду завдань з вивчення фізики газово-аерозольного шару планетних атмосфер з борту Міжнародної космічної станції (МКС). Наземне супроводження вищезгаданого експерименту дозволить доповнити дані, отримані з борту МКС в діапазоні довжин хвиль $\lambda = 230 \dots 390$ нм, результатами, отриманими в видимій частині спектра. Перекриття спектральних діапазонів апаратури КЗ і наземного супроводження дозволить виконувати незалежну калібровку встановленого на борту МКС пристрою.

ЦИФРОВОЙ ПАНОРАМНЫЙ ПОЛЯРИМЕТР

Астрономічний спостережувальний комплекс «Цифровий панорамний поляриметр» — результат тривалої і цілеспрямованої роботи, виконаної в ГАО НАН України з метою створення і освоєння апаратури для панорамної поляриметрії. Комплекс ЦПП дозволяє визначати повний вектор Стокса поляризованого оптичного випромінювання від джерел, даючих зображення в фокальній



Принципиальная схема ЦПП: ПМ — поляридный модулятор, П — поляриод, ФП — фазовая пластина, БШД — блок шагового светофильтра, БНСФ — блок нейтральных светофильтров, БСФ — блок светофильтров, БИСФ — блок интерференционных светофильтров, БТО — блок тестовых объектов, ВУ — видеоусилитель, АЦП — аналогово-цифровой преобразователь, ВКУ — видеоконтрольное устройство, ПК — персональный компьютер

плоскости телескопа, а также в лабораторных условиях.

ЦПП представляет собой комплекс оригинальной астрономической телевизионной установки на базе панорамного высокочувствительного приемника «суперизокон» типа ЛИ-804, оптико-механического блока и персонального компьютера, который оснащен специальным программным обеспечением (рисунок). Комплекс позволяет раскладывать каждый элемент в текущем кадре на 256 уровней по интенсивности с последующим вводом и обработкой на персональном компьютере в режимах фотометрии и поляриметрии и с возможностью накапливать сигнал для увеличения экспозиции.

Основные технические характеристики комплекса представлены ниже.

Спектральный диапазон, нм	350...750
Полное поле	7.5'×7.5'
Разрешение на один элемент разложения	0.45"×0.45"
Размер рабочего поля в фокальной плоскости, мм	22×22
Количество линий в кадре	4096
Количество элементов в линии	1024
Точность измерения линейной поляризации, %	до 0.3
Динамический диапазон, в звездных величинах	до 17

Комплекс можно условно разбить на три функциональные части:

1. Оптико-механический блок (ОМБ) предназначен для сбора светового потока, его селекции по

диапазонам длин волн и построения изображения исследуемого объекта на фотокатоде приемника.

2. Астрономическая телевизионная установка преобразует это изображение в электронный профиль, усиливает и выводит его на монитор.

3. Программно-аппаратный комплекс на основе ПЭВМ с адаптером ввода изображений и пакетом прикладных программ позволяет преобразовать электронный сигнал в поляризационное изображение, которое выводится на монитор.

Конструктивно комплекс состоит из двух частей: навесного блока, который монтируется в фокусе телескопа и стойки пульта управления. Обе части соединены между собой кабелем длиной 25 м. Навесной блок представляет собой единую конструкцию, состоящую из оптико-механического модуля и модуля телевизионной трубки ЛИ-804. Оптико-механический модуль содержит блок стандартных светофильтров; блок интерференционных светофильтров; блок нейтральных светофильтров; блок тест-объектов; блок поляридного модулятора и блок офсетного гида. Рассмотрим работу и устройство каждого из них.

1. Блок стандартных светофильтров предназначен для выделения необходимого спектрального диапазона при фотометрических и фотополариметрических исследованиях. Конструктивно он представляет собой турель с шестью гнездами под

светофильтры стандартной системы Джонсона (U , B , V , R , I). Одно отверстие остается свободным. Турель приводится во вращение с помощью шагового двигателя ДШИ-200, сигналы на который подаются от специально разработанной схемы управления.

2. Блок интерференционных светофильтров дает возможность сузить рабочий спектральный диапазон до полосы пропускания этих фильтров (5—20 нм). Он состоит из набора сменных интерференционных светофильтров, и по конструкции аналогичен блоку стандартных светофильтров.

3. Блок нейтральных светофильтров позволяет ослаблять общий уровень принимаемых сигналов. Конструктивно он представляет собой задвижку, с помощью которой производится замена светофильтров.

4. Блок тест-объектов необходим для юстировки телевизионной установки как в процессе наладки, так и в процессе эксплуатации, а измерение плоского поля входит в алгоритм методики исследования слабых астрономических объектов. Блок конструктивно представляет собой отдельный оптико-механический узел, состоящий из вращающейся турели с набором гнезд под соответствующие тестовые объекты, источника света, узла подсмотра и призмы, позволяющей направить тестируемый свет на приемник.

5. Блок поляроидного модулятора представляет вращающуюся ахроматическую фазовую пластинку большого размера и неподвижный поляризатор, установленный перед ней. Вращение на пластинку передается управляемым шаговым двигателем.

Модуль передающей телевизионной трубки состоит из самой передающей телевизионной трубки ЛИ-804 и электронных блоков, которые обеспечивают режимы работы телевизионной трубки, видеосилителя и аналогово-цифрового преобразователя (АЦП). Здесь же находится модуль управления ОМБ, в состав которого входят электронные узлы автоматики ОМБ. Трубка ЛИ-804 представляет собой сочленение в одной общей оболочке изокона с однокамерным электроннооптическим преобразователем. Такое удачное совмещение двух вакуумных приборов в одном позволило получить для телевизионных трубок этого класса наибольшую чувствительность и разрешение [1].

В стойке управления ЦПП смонтирована остальная аппаратная часть поляриметра, которая осуществляет управление и контроль всей системой в режимах наблюдения, регулировки и настройки, а именно: 1) видеоконтрольное устройство (ВКУ), на мониторе которого формируется изображение, передаваемое камерным блоком из фокальной пло-

скости телескопа; 2) блок управления режимами считывания, с которого задаются параметры разложения телевизионного изображения: это число строк в растре и число элементов в строке, а также может задаваться размер считываемого участка в пределах рабочего поля приемника излучения с помощью специально подсвечиваемого на экране электронного маркера; 3) блок управления ОМБ, с которого задается выбранный режим работы ОМБ: устанавливаются соответствующие светофильтры, включаются и задаются режимы работы блока поляридного модулятора, режим тестового контроля, при котором на фотокатод приемника излучения проецируются необходимые тестовые изображения с возможностью управления их яркостью. Здесь же расположены органы управления встроенной системой контроля видеотракта прибора и другие контрольные и технологические органы управления; 4) блок управления режимами работы изокона, где производится включение — выключение, настройка и регулировка этого блока; 5) блок управления режимами поляриметра, в котором производятся необходимые переключения в соответствии с выбранной астрономической задачей.

Программно-аппаратный комплекс ЦПП представляет собой персональный компьютер, адаптер ввода изображений и программное обеспечение, выполненное на основе программы обработки изображений в среде MS DOS MAGIX, доработанное под алгоритмы астрономических задач. Сюда оцифрованный видеосигнал подается для обработки и последующего хранения. После проведения ряда соответствующих испытаний и наблюдений программное обеспечение было доработано для возможности более гибкого управления алгоритмом экспозиции. Данное программное обеспечение позволяет вводить, выводить на монитор, хранить и обрабатывать изображения, получаемые аппаратурой ЦПП в различных режимах работы.

ПАНОРАМНЫЙ ПОЛЯРИМЕТР НА БАЗЕ ПЗС-КАМЕРЫ

Сейчас в ГАО НАН Украины проводятся работы по разработке и созданию панорамного поляриметра на базе ПЗС камеры Alta U42. Применение данной камеры позволит расширить спектральный диапазон, упростить конструкцию, значительно уменьшить весовые и габаритные параметры по сравнению с ЦПП.

Этот прибор также как и ЦПП можно условно разделить на три части:

1. Оптико-механический блок представляет собой конструкцию, которая позволяет переносить изо-

бражение с фокальной плоскости телескопа на входное окно ПЗС-матрицы. В его состав входит блок светофильтров, блок визуального контроля изображения при прохождении светового пучка через диафрагму, и блок поляроидного модулятора. Последний состоит из неподвижного поляроида и проворачивающейся с шагом 22.5° ахроматической фазовой пластины. Точность остановки пластины не должна превышать $\pm 0.5'$.

2. Блок ПЗС-камеры является приемником, преобразующим световой сигнал в электрический. Он состоит из самой охлаждаемой ПЗС матрицы (E2V CCD42-40) с количеством элементов 2048×2048 и с диагональю рабочей площадки 39.1 мм; воздушной системы охлаждения, позволяющей понизить температуру ПЗС на 50°C относительно окружающей среды и стабилизировать ее с точностью $\pm 0.1^\circ\text{C}$. Спектральный диапазон приемной системы 340—1000 нм.

3. Программно-аппаратный комплекс на базе персонального компьютера с пакетом программного обеспечения.

Такой мобильный комплекс аппаратуры позволит получать поляризационную информацию от небесных тел в отдельных участках спектра, вырезаемых светофильтрами, в спектральном диапазоне от 340 до 1000 нм. Наземное сопровождение в вышеуказанном КЭ позволит дополнить данные, полученные с борта МКС (230—390 нм), и получать наблюдения в диапазоне спектра 230—1000 нм. Поляриметрические данные с перекрывающимся спектральным диапазоном, полученные в результате проведения КЭ и наземного сопровождения, позволят выполнять независимую калибровку аппаратуры, установленной на борту МКС.

ОБРАБОТКА ПАНОРАМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Программное обеспечение для регистрации изображений звездных полей в виде телевизионного кадра ЦПП организовано так, что исходные данные получают в формате *.IMX. Для работы в программном пакете MIDAS/ROMAFOT данные должны быть переведены в формат *.FITS. Для перезаписи информации из формата *.IMX в формат *.FITS используются программы, которые разработанные группой сотрудников по эксплуатации АЦМФ-ХУ отдела АКЮЦ ГАО НАН Украины. Как показывает опыт [1], без специальной предварительной обработки кадров изображений получить фотометрические и позиционные характеристики «звездобразных» объектов во всем динамическом интервале инструментальных величин проблематично. По-

этому ко всем кадрам изображений, представленных в цифровом виде, была применена процедура последовательного искусственного понижения уровня фона и растягивание динамического диапазона регистрации интенсивности в кадре изображения. Этот способ позволяет надежно выделять все объекты, зарегистрированные на астрономическом изображении. Дальнейшие операции сглаживания и фильтрации выполнялись с помощью программного пакета MIDAS.

Обработка изображений с использованием фотометрического программного пакета ROMAFOT позволяет получать инструментальные величины и прямоугольные координаты объектов астрономических изображений в цифровом виде. Работа с фотометрическим программным пакетом ROMAFOT ведется в автоматическом режиме.

Модернизация ЦПП выполняется при частичной финансовой поддержке Украинского научно-технологического центра (STCU Grant NN43) и Национального космического агентства Украины (контракт НККУ 1-07/03).

ВЫВОДЫ

В Главной астрономической обсерватории НАН Украины создан экспериментальный образец астрономического комплекса приборов под названием «Цифровой панорамный поляриметр» (ЦПП). Комплекс с помощью преобразователя и линейного анализатора поляризации, установленных перед панорамным фотоприемником, позволяет визуализировать распределение всех четырех параметров Стокса $\{I, Q, U, V\}$, в пределах сформированного изображения исследуемого объекта и найти интервалы их временных изменений. Комплекс программ в операционных системах LINUX/MIDS/ROMAFOT создан для обработки телевизионных кадров изображений звездных полей и для получения позиционных и фотометрических характеристик зарегистрированных с помощью ЦПП объектов. Обеспечена привязка получаемых данных к точному времени. Все это позволяет получать поляризационную информацию в спектральном диапазоне 350—750 нм.

Модернизация ЦПП, посредством использования в качестве приемника света, астрономической камеры на базе охлаждаемой ПЗС-матрицы позволит упростить оптико-механический блок и получать поляризационную информацию в спектральном диапазоне 340—1000 нм.

Это позволит проводить работы по наземному сопровождению и исследованию объектов в рамках

задач международного космического эксперимента, входящего в комплексную программу «Планетный мониторинг». А именно, дополнять данные, получаемые с борта МКС ($\lambda\lambda = 230...390$ нм), результатами, получаемыми при наземных наблюдениях (видимая и ближняя ИК-область). Общий спектральный диапазон аппаратуры КЭ и наземного сопровождения позволит выполнять независимую калибровку прибора, установленного на борту МКС.

1. Абраменко А. Н., Агапов Е. С., Анисимов В. Ф. и др. Телевизионная астрономия / Под ред. Никонова В. Б. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Наука, 1983.—272 с.
2. Андрук В. М., Парусімов В. Г., Дудник Т. Б. Островський Д. Ю. Каталог положень та величин в системі R Джонсона 700 зірок в Гіадах. Вимірювання, астрономічна та фотометрична обробка фотоплівок // Кинематика и физика небес. тел.—1999.—15, № 6.—С. 489—500.
3. Мороженко О. В., Відьмаченко А. П. Задачі спектрополяриметричного експерименту на Міжнародній космічній станції // Космічна наука і технологія.—2002.—8. № 5/6. С. 39—44.
4. Соболев В. В. Исследования атмосферы Венеры. II // Астрон. журн.—1968.—45, № 1.—С. 169—176.
5. Шутов А. М. Видеополяриметры // Оптический журн.—1993.—5.—С. 3—10.

**DIGITAL PANORAMIC POLARIMETER FOR
GROUND-BASED ATTENDING THE SPACE EXPERIMENT
«PLANETARY MONITORING»**

**A. P. Vid'machenko, A. V. Morozhenko, A. S. Delets,
P. V. Nevodovskii, M. G. Sosonkin, Yu. S. Ivanov,
and V. M. Andruk**

The Main Astronomical Observatory of the National Academy of Sciences of Ukraine in collaboration with the Institute of Space Investigations of the Russian Academy of Sciences takes part in the International Space Experiment within the framework of the combined program «Planetary monitoring». We describe the complex of astronomical devices «Digital panoramic polarimeter» (DPP) intended for ground-based attending of observations of celestial objects in the framework of the space experiment «Planetary monitoring».