

## ЭЛЕКТРОФОТОМЕТР ФОКУСА НЭСМИТ-1 6-М ТЕЛЕСКОПА

Н. А. Викульев, В. В. Зиньковский, Б. И. Левитан,  
А. Ф. Назаренко, С. И. Неизвестный,

Приводится описание автоматизированного электрофотометра фокуса Нэсмит-1 БТА, а также его программно-математического обеспечения.

*A description of automatized electrophotometer, installed in the Nasmyth-1 focus of the 6-m telescope, and its software are presented.*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Электрофотометр фокуса Нэсмит-1 БТА (НЭФ-1) разработан и сконструирован в течение полутора лет, начиная с января 1988 г. В настоящее время фотометр регулярно используется в программных наблюдениях на БТА. Вместе со сканером БТА НЭФ-1 составляет спектрофотометрический комплекс фокуса Нэсмит-1 (светосила - 1/30, фокусное расстояние - 180 м). Благодаря созданию НЭФ-1, на БТА появилась возможность проводить синхронные спектральные и фотометрические наблюдения в различных вариантах, проводить спектрофотометрию исследуемых объектов в абсолютных энергетических единицах.

Электрофотометр НЭФ-1 построен по принципу выходного зрачка, имеет два фотометрических канала и является полностью автоматизированным прибором. Все его оптико-механические узлы могут управляться либо с пульта локальной (спутеллитной) ЭВМ, расположенной в фокусе Нэсмит-1, либо с пульта центральной управляющей ЭВМ (host-ЭВМ). При этом реализуется несколько вариантов управления оптико-механическими узлами (см. об этом в разделе 2.2).

Созданная автоматизированная система управления, регистрации и обработки данных фотометра НЭФ-1 (система "ФОТОН-1") существенно облегчила работу с прибором и сделала доступным его эксплуатацию во время наблюдений любому астроному-оператору, имеющему минимальные навыки в работе с вычислительной техникой.

## 2. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРА НЭФ-1

### 2.1. Астрофизический аспект

Конструкция электрофотометра, его программно-математическое обеспечение позволяют вести одновременно с классической фотометрией спектрофотометрию небесных объектов телевизионным сканером БТА (Драбек и др., 1986) и исследование быстротекающих процессов программно-аппаратным комплексом МАНИЯ (Журавков, Плохотниченко, 1989).

Система обеспечивает выполнение следующих вариантов работы фотоэлектрического комплекса:

- синхронно: наблюдения спектров слабых объектов и их многоцветная фотометрия (в частности, UBVR; полное число фотометрических полос равно 15);
- синхронно: наблюдения спектров и фотометрическое патрулирование с записью кривой блеска;
- классическая многоцветная фотометрия (с квазиодновременным вычитанием фона);
- переход в режим наблюдений по эксперименту "МАНИЯ".

Краткое описание функциональных возможностей работы комплекса в этих вариантах приводится ниже.

#### 2.1.1. Синхронное получение спектров слабых объектов и их многоцветной фотометрии

Режим используется для фотометрической привязки спектров, получаемых на сканере БТА, и для синхронной многоцветной фотометрии исследуемого объекта. Привязка позволяет получить надежную калибровку сканерных спектров в абсолютных энергетических единицах. При этом есть возможность фотометрической привязки по наблюдениям в идентичных (как по размерам, так и по наблюдаемой области неба) диафрагмах фотометра и сканера, а также привязки к полному потоку от объекта по наблюдениям в диафрагме, охватывающей все изображение объекта (максимальный размер диафрагмы фотометра - 17").

Данный режим позволяет также проводить синхронную фотометрию в заданном цикле в  $N$ -фильтрах, где  $N$  может иметь значения от 1 до 16.

В зависимости от решаемой задачи - от требуемой точности накапливаемого спектра, точности фотометрической привязки или широкополосной фотометрии - имеется возможность варьировать соотношение между световыми потоками, идущими на фотометр и на сканер.

#### 2.1.2. Синхронные наблюдения спектров и фотометрическое патрулирование с записью кривой блеска

Данный режим обеспечивает параллельную запись спектра и кривой блеска исследуемого объекта. Здесь имеется возможность регистрации кривой блеска исследуемого объекта в классическом одноканальном варианте с заданием минимального временного разрешения, вплоть до 2 миллисекунд. В случае, если при записи кривой блеска важно отслеживать изменение фона, имеется возможность записи кривой блеска в двух каналах "объекта" и "фона". В последнем варианте

минимальное временное разрешение составляет 0.06 с.

### 2.1.3. Классическая многоцветная фотометрия

По умолчанию этот режим настроен на вариант наблюдений в UBVR-фильтрах, но при явном указании параметров цикла измерений в автоматическом режиме можно проводить измерения в любых последовательно расположенных  $N$ -фильтрах, где  $N$  может принимать значения от 1 до 16.

Далее мы кратко опишем возможности системы в варианте классической UBVR-фотометрии.

В настоящей версии системы "ФОТОН-1" заложена возможность наблюдения исследуемого небесного объекта только по стандартной дифференциальной методике. Для обеспечения требуемой точности измерений в системе предусмотрено определение и учет коэффициентов, характеризующих соотношение площадей диафрагм-щелей "объекта", "фона", т. е. однородность оптических каналов "объекта" и "фона" и формирования элементарных экспозиций в этих каналах.

Во время проведения наблюдений экстинкционных фотометрических стандартов с целью измерения атмосферной экстинкции система позволяет определить как главные коэффициенты экстинкции в фильтрах UBVR, так и цветовые коэффициенты обоих порядков.

Кроме этого, в системе заложена возможность редукции результатов измерений из инструментальной фотометрической системы в стандартную систему Джонсона.

При наблюдениях фотометрического стандарта определяются нуль-пункты системы UBVR на момент наблюдения этого стандарта. Автоматическая запись результатов этих измерений в архив позволяет затем определить общую стабильность чувствительности тракта регистрации и состояние атмосферы как в течение ночи, так и от ночи к ночи.

Сразу же после окончания экспозиции, войдя в "меню" в режим "обработка объекта", можно определить внеатмосферные UBVR-величины исследуемого объекта, используя при этом результаты наблюдений фотометрического стандарта, выполненные предварительно. Можно при необходимости переобработать объект (выполнить обработку заново) с различными вариантами нормировки. Об этом подробнее сказано в разделе 2.1.5.

### 2.1.4. Переход в режим наблюдений по эксперименту "МАНИЯ"

Это специфический режим работы комплекса, необходимый для обеспечения эксперимента "МАНИЯ". Режим требует работы только в наборе осевых диафрагм с остановленным в секторе "объекта" модулятором "объект-фон". Режим имеет специальный вариант уравнивания интенсивности стандарта с интенсивностью объекта посредством автоматического управления аттенуатором. Параллельно с работой комплекса "МАНИЯ" здесь есть возможность записи кривой блеска в одноканальном классическом варианте.

### 2.1.5. Обработка наблюдений

Кроме минимального варианта обработки, выполняемого сразу же по окончании экспозиции, в системе заложена возможность редукции и более детальной

обработки информации, содержащейся в архиве.

Это статистическая обработка:

- 1) учет уходов объекта из диафрагмы, определение резких изменений прозрачности атмосферы и прочих систематических трендов сигнала по критерию  $t$ ;
- 2) учет резких выбросов потока (вызванных регистрацией космических частиц высоких энергий или аппаратурными сбоями), определяемых по  $t$ -критерию и анализу выбросов.

Обработка стандарта по редуцированным файлам исходной информации.

Обработка объекта по редуцированным файлам исходной информации:

- 1) нормировка на один стандарт (одно наблюдение);
- 2) нормировка на  $N$  стандартов (или  $M$  наблюдений одного и того же стандарта).

С помощью системы вычисляются также коэффициенты экстинкции, яркость фона ночного неба, проводится редукция результатов наблюдений из инструментальной фотометрической системы в стандартную.

## 2.2. Управление оптико-механическими узлами фотометра

Система обеспечивает как возможность управления отдельными исполняющими механизмами комплекса, так и автоматическую сборку его оптико-механической схемы. При этом автоматическая сборка может осуществляться в нескольких вариантах:

- сборка схемы в режиме последовательного контроля работы исполняющих механизмов комплекса, а также в режимах калибровок, тестирования и контроля чувствительности тракта регистрации;
- подготовка необходимого варианта оптико-механической схемы без запуска фотометрических измерений (этот вариант часто используется при наблюдениях только со сканером);
- автоматическая сборка схемы по заданному циклу во время выполнения наблюдений исследуемых объектов;
- сборка схемы для наблюдений в варианте эксперимента "МАНИЯ".

Кроме этих режимов, имеется специальный вариант управления апертурным ослабителем потока - автономное управление аттенюатором.

## 2.3. Контроль функционирования комплекса

Система обеспечивает контроль работоспособности тракта регистрации электрофотометра, контроль работы исполняющих механизмов и драйверов, блоков электронной коммутации фотометра, определение стабильности вращения модулятора "объект-фон" и стабильности формирования времени элементарной экспозиции. Система имеет управление калибровками комплекса, а также возможность моделировать входной световой поток путем подачи сигналов на два управляемых источника излучения, задавая необходимый уровень фоновой подложки, амплитуду, форму светового импульса и его скважность.

Предусмотренный в системе специальный режим контроля обеспечивает проверку стабильности общей чувствительности фотометрического тракта регистрации во всех фильтрах как на коротких (0.01 - 1.0 с), так и на больших временах (часы - дни).



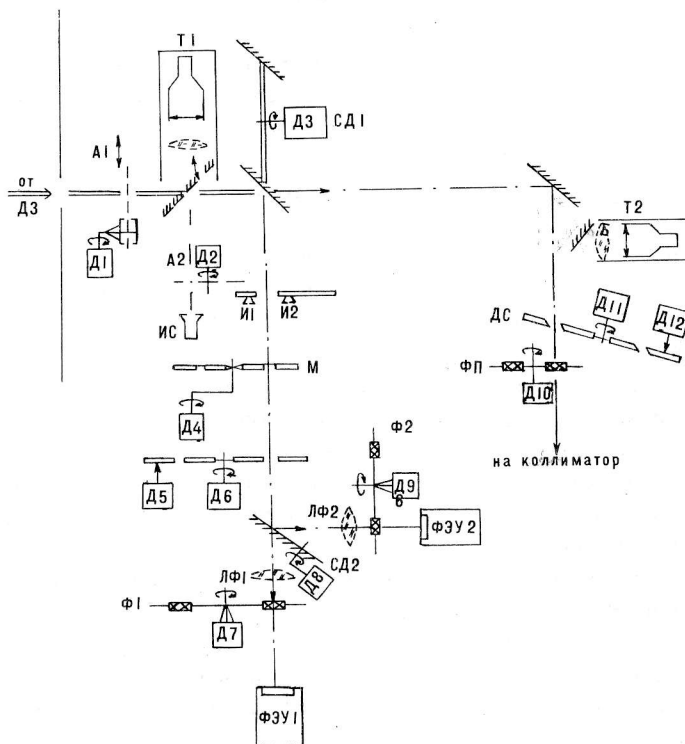
Автоматическое занесение результатов контроля в архив позволяет провести их анализ, определить изменение фотометрических характеристик тракта, регистрации от сета к сету наблюдений и, в частности, оценивать величину старения катодов фотоумножителей, что, в свою очередь, позволяет провести своевременную замену ФЭУ.

### 3. БЛОК-СХЕМА ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРА

Блок-схема фотометра изображена на рис. 1.

Рис. 1. Блок-схема НЭФ-1.

Обозначения на рисунке:  
 ДЗ - диагональное зеркало БТА; А1 - ослабитель потока; А2 - ослабитель спектра сравнения; Т1 - телевизионный подсмотр поля; Т2 - подсмотр деккера сканера; СД1, СД2 - светоделители; ИС - источник спектра сравнения; И1, И2 - источники стандартного излучения; В - виньетирующая маска; М - модулятор "объект-фон"; ДС - деккер сканера; ДФ - деккер фотометра; ЛФ - линзы Фабри; Ф1, Ф2 - турели фильтров; ФП - порядкоразделительные фильтры.



Свет от диагонального зеркала БТА (ДЗ) проходит сквозь апертурный ослабитель А1 и попадает на основной светоделитель СД1. Отраженный от делителя свет идет в канал электрофотометра, прошедший через делитель свет - в канал сканера. Перед светоделителем СД1 находится телевизионный подсмотр поисковой части (Т1), обеспечивающий отождествление исследуемого объекта в поле диаметром около 5 угл. минут. Прошедший через светоделитель свет попадает на деккер сканера (ДС), затем через блок порядкоразделительных фильтров ФП - на коллиматор. Деккер сканера установлен так, что нормаль к нему и оптическая ось телескопа находятся под углом около  $15^{\circ}$ . Отраженный от зеркальной поверхности деккера сканера свет попадает на телевизионную систему гидирования (Т2). Эта система позволяет при гидировании работать с невиньетируемым полем диаметром около 1 угл. минуты.

Отраженный от делителя СД1 свет, проходя виньетирующую маску В и модулятор "объект-фон" М, попадает на деккер фотометра ДФ. На виньетирующей маске, со

стороны, обращенной к деккеру ДФ, расположены два источника стандартного излучения - И1 и И2. За деккером ДФ находится светоделитель СД2, который перебрасывает часть света на второй фотометрический канал. После светоделителя СД2 оба канала похожи друг на друга. Линзы Фабри ЛФ1 и ЛФ2 строят изображение выходного зрачка на катодах фотоэлектронных умножителей - ФЭУ 1 и ФЭУ 2. Перед ФЭУ в параллельном пучке стоят светофильтры Ф1 и Ф2.

На входе фотометра стоит блок апертурного серого ослабителя А1. Этот ослабитель используется для увеличения динамического диапазона светоприемников комплекса, а также в специальном режиме наблюдений МАНИЯ (см. раздел 2.1.4).

При световом потоке, переброшенном на телевизионный подсмотр поля Т1, возможна подача спектра сравнения в канал сканера. Поток от источника спектра сравнения ИС, пройдя ослабитель спектра сравнения А2, подается в канал сканера.

Узлы электрофотометра расположены на несущих панелях спектрографа СП-124. Основные модули фотометра, требующие особенно тщательных юстировок (блоки светоделителей, диафрагм, линз Фабри, головки ФЭУ и др. - см. рис.1), размещены на отдельной съемной платформе. Съемная платформа позволяет проводить юстировки этих модулей в лаборатории. Крепится она жестко к боковой несущей панели СП-124. Крепления платформы снабжены юстировочными узлами, обеспечивающими все необходимые юстировочные движения в широких пределах. Кроме того, каждый из блоков фотометра имеет возможность своей независимой юстировки.

Окончательные юстировки фотометра и блока входных щелей-диафрагм сканера проводились на телескопе по искусственной звезде и по реальным изображениям звезд. Ниже приводятся характеристики отдельных оптико-механических узлов фотометра.

### 3.1. Узел основного светоделителя

Для обеспечения деления входного светового потока между спектрографом и фотометром используется турель, содержащая 6 позиций, в пяти из которых установлены светоделители. При этом фотометр работает в отраженном свете, а спектрограф - в прошедшем через делитель свете. Коэффициенты деления света этих светоделителей приведены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты деления света основного светоделителя

| Номер позиции | 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6   |
|---------------|-----|----|----|----|----|-----|
| на сканер, %  | 100 | 94 | 75 | 50 | 25 | 0   |
| на фотометр   | 0   | 6  | 25 | 50 | 75 | 100 |

Светоделительные пластины обеспечивают деление светового пучка диаметром 110 мм, что позволяет работать в фокальной плоскости без виньетирования с полем до 75 мм.

Турель светоделителей приводится в движение асинхронным двигателем

постоянного тока и снабжена двумя электромеханическими датчиками положения: один - датчик текущей позиции, второй - датчик нуль-пункта. Нуль-пункт совмещен с позицией турели без светоделителя.

Каждый из светоделителей размещен в каретке, которая имеет возможность всех необходимых юстировочных движений.

### 3.2. Модулятор светового потока "объект-фон"

Модулятор представляет собой диск с прорезями, обеспечивающими прохождение невиньетируемого потока при работе с диафрагмами максимального диаметра 17" (в осевом варианте наблюдений). Прорези расположены в двух секторах: секторе "объекта" и секторе "фона", каждый из которых охватывает около 169 градусов дуги модулятора. Между секторами имеется два светоразделяющих участка шириной в 11 градусов. Благодаря этим участкам при модуляции в фотометрические каналы попадает либо поток от объекта, либо от фона, и эти потоки никогда не перекрываются.

В режиме внеосевых наблюдений модулятор обеспечивает модуляцию потока с диафрагмами максимального диаметра 3".

В вариантах наблюдений без модуляции потока модулятор программно устанавливается в сектор "объекта" или "фона".

### 3.3. Деккер фотометра

Деккер представляет собой металлический диск, в 16-ти секторах которого расположены диафрагмы разного диаметра. Список этих диафрагм приведен в табл. 2. В каждом из 16-ти секторов имеется по две диафрагмы одинакового размера: одна диафрагма - для измерения объекта, другая - для измерения фона. Диафрагмы диаметром от 0.7" до 3.0" выполнены в двух наборах: первый набор - объектные диафрагмы на расстоянии 20.0" от фоновых (осевой вариант); второй - на расстоянии 40.0" (внеосевой вариант). Диафрагмы диаметром от 6.0" до 17.0" находятся на расстоянии 20.0" и используются только в варианте осевых наблюдений. Диафрагмы диаметром от 0.7" до 3.0" на деккере фотометра и сканера идентичны по размерам и расположению на рабочих поверхностях деккеров. Центры объектных диафрагм на деккере фотометра и сканера совмещены с точностью около 0.05 мм. Точность установки и фиксации диафрагм (повторяемость установок) на деккере фотометра и сканера составляет около 0.02 мм.

Движение деккера осуществляется шаговым двигателем. Для точной установки деккера в заданную позицию применяется специальное электромеханическое устройство прецизионной фиксации.

### 3.4. Турель фильтров

Турель фильтров имеет 16 секторов, в которых устанавливаются фильтры. Расположение фильтров по секторам приведено в табл. 3. Последовательность установки турели фильтров задается в каждом конкретном варианте наблюдений управляющей программой.

Таблица 2. Диаметры диафрагм (Д) и относительные расстояния между ними (Р)

| Номер позиции | Деккер фотометра |       | Деккер сканера         |                     |
|---------------|------------------|-------|------------------------|---------------------|
|               | Д(мм)            | Р(мм) | Д                      | Р                   |
| 1             | 17.0             | 20    | Щель длинная 57×2.0 мм |                     |
| 2             | 12.0             | 20    | Щель -"- 57×1.5        |                     |
| 3             | 9.0              | 20    |                        |                     |
| 4             | 6.0              | 20    |                        |                     |
| 5             | 3.0              | 20    | 3.0                    | 20+20 (3 диафрагмы) |
| 6             | 2.5              | 20    | 2.5                    | 20+20               |
| 7             | 2.0              | 20    | 2.0                    | 20+20               |
| 8             | 1.5              | 20    | 1.5                    | 20+20               |
| 9             | 1.0              | 20    | 1.0                    | 20+20               |
| 10            | 0.7              | 20    | 0.7                    | 20+20               |
| 11            | 3.0              | 40    |                        |                     |
| 12            | 2.5              | 40    |                        |                     |
| 13            | 2.0              | 40    | Щель длинная 57×0.7    |                     |
| 14            | 1.5              | 40    |                        |                     |
| 15            | 1.0              | 40    | Щель -"- 57×1.0        |                     |
| 16            | 0.7              | 40    |                        |                     |

Используемые фильтры UBVR в сочетании с фотоумножителем типа ФЭУ-106 реализуют фотометрическую систему, близкую к системе Джонсона. Эти фильтры составлены из комбинации светофильтров, параметры которых приведены в табл. 5.

Поскольку фильтры расположены после линзы Фабри, в параллельном пучке, то различие в оптической толщине фильтров не вызывает смещения выходного зрачка на фотокатоде при их смене.

Таблица 3. Расположение фильтров на турели

| Номер позиции | 1    | 2    | 3    | 4    | 5                 | 6  | 7              | 8              |
|---------------|------|------|------|------|-------------------|----|----------------|----------------|
| фильтр        | ТТ   | U    | V    | V    | R                 | F  | H <sub>α</sub> | H <sub>β</sub> |
| Номер позиции | 9    | 10   | 11   | 12   | 13                | 14 | 15             | 16             |
| фильтр        | 4520 | 5020 | 6210 | 6500 | свободные позиции |    |                |                |

Кривая реакции фильтра F приблизительно представляет собой сумму фильтров U и V. Этот фильтр часто используется в режиме наблюдений "МАНИЯ".

Используемые узкополосные фильтры являются интерференционными. Почти все эти фильтры применяются для привязки сканерных спектров в разных спектральных областях.

Нуль-пункт турели установлен в позиции "затвор" ("ТТ"). В заданную позицию турель выводится шаговым двигателем и фиксируется механически. На турели установлен демпфер, позволяющий осуществлять ее переключение и точную фиксацию. Полное время переключения и фиксации турели между двумя соседними позициями

составляет 0.3 с.

В позициях 9, 10, 11, 12 стоят узкополосные фильтры, которые применяются для специальной калибровки сканерных спектров по континууму наблюдавшихся объектов. Центральные длины волн этих фильтров приведены в таблице, ширины на половине максимума пропускания составляют для них около 85 Å.

### 3.5. Ослабитель потока (аттенватор)

Чтобы не выходить за верхнюю границу динамического диапазона сканера при наблюдении ярких спектрофотометрических стандартов, используется ослабитель потока. Кроме того, аттенватор используется в режиме наблюдений по эксперименту МАНЯ для приведения интенсивности стандартной звезды к интенсивности объекта.

Управление аттенватором осуществляется с пульта host-ЭВМ в ручном режиме или по специальным программам в автоматическом режиме.

Ослабление потока выполняется с шагом 0.01 зв. величины от 0.00 до максимального значения, равного 6.5 зв. величин. Ослабитель является дырчатым и не изменяет спектральных характеристик ослабляемого светового потока.

### 3.6. Деккер сканера

Деккер сканера (щелевой узел) по размерам полностью идентичен деккеру фотометра. Диафрагмы деккера сканера выполнены тройками в каждой из устанавливаемых позиций: центральная диафрагма является осевой, одна из диафрагм используется во внеосевом варианте наблюдений объекта и третья диафрагма - фоновая. Расстояние между центрами диафрагм равно 20". Диафрагмы деккера сканера (см. табл. 2) идентичны аналогичным диафрагмам деккера фотометра как по размерам, так и по пространственной ориентации относительно оптической оси телескопа.

Точностные характеристики установок центров диафрагм, совмещения их с центрами соответствующих диафрагм фотометра приведены в параграфе 3.3.

Кроме диафрагм, деккер сканера имеет 4 щели высотой 57". Ширины щелей указаны в табл. 2.

Механизмы установки и фиксации деккера сканера такие же, как и деккера фотометра.

### 3.7. Блок порядкоразделительных фильтров

Порядкоразделительные фильтры расположены за деккером сканера. Блок порядкоразделительных фильтров имеет возможность установки четырех различных фильтров. Фильтры обеспечивают работу с невиньетируемым полем размером 6x60 мм<sup>2</sup>.

### 3.8. Ослабитель спектра сравнения

Так же, как и ослабитель потока, ослабитель спектра сравнения используется для обеспечения работы сканера в пределах динамического диапазона при накоплении спектра сравнения.

Турель ослабителя спектра сравнения имеет 8 секторов, в которых установлены дырчатые ослабители. Их коэффициенты ослабления приведены в табл. 4.

Таблица 4. Коэффициенты ослабления (в зв. величинах) дырчатого ослабителя спектра сравнения

| Номер позиции | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ослабление    | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 0 | 1 | 2 |

### 3.9. Турель фильтров второго канала

Из пяти секторов турели фильтров второго канала четыре занято фильтрами, характеристики которых приведены в табл. 5. В позиции 1 расположено свободное окно, со второй по пятую позицию находятся фильтры, аналогичные первому каналу (см. табл. 3). Так же, как и в основном канале, фильтры установлены после линзы Фабри в параллельном пучке. Механизмы движения и фиксации турели аналогичны механизмам турели фильтров основного канала.

### 3.10. Линзы Фабри

Обе линзы Фабри (как основного, так и второго канала) строят на фотокатоде ФЭУ неподвижный выходной зрачок диаметром 5 мм. Обе линзы изготовлены из плавленого кварца. Линза Фабри основного канала обеспечивает работу с полем в фокальной плоскости диаметром до 80 мм, линза Фабри второго канала - 45 мм (т.е. только вариант осевых наблюдений). Узлы линз Фабри обеспечивают необходимые юстировочные движения.

### 3.11. Узел фотоумножителя

Стакан ФЭУ находится в криостате. Необходимая температура термостабилизации может быть выбрана от  $+15^{\circ}\text{C}$  до  $-11^{\circ}\text{C}$ . В криостате использована электротермостабилизация с применением двухступенчатого эффекта Пельтье.

При внешней температуре около  $+14^{\circ}\text{C}$  криостат выходит в заданный режим ( $-10^{\circ}\text{C}$ ) за 25 мин. Опыт использования криостата в реальных наблюдениях показал, что в течение двух недель термостабилизация сохраняется на заданном уровне в пределах  $0.1^{\circ}\text{C}$ .

Фотоумножитель включен в режиме счета фотонов по схеме с заземленным катодом, которая приведена в работе Неизвестного и Пимонова (1978).

После усилителя, который находится в этом же стакане ФЭУ, импульс поступает на дискриминатор-формирователь. Сформированные импульсы имеют амплитуду 9В и ширину на уровне 0.5 амплитуды около 20 нс. Выходной сигнал ФЭУ подается затем на частотомеры визуального контроля, счетные модули КАМАК, комплекс исследования сверхбыстрой переменности "КВАНТОХРОН" (Журавков, Плохотниченко, 1989).

#### 4. ЭЛЕКТРОНИКА ФОТОМЕТРА

На рис. 2 изображен состав и размещение основных аппаратных компонент фотометра НЭФ-1. Система управления (см. следующий раздел) реализована на двухуровневом комплексе ЭВМ – главной (host-ЭВМ), размещенной в аппаратной комнате БТА, и периферийной (сателлитной ЭВМ), расположенной в непосредственной близости от фотометра в фокусе Нэсмит-1.

##### 4.1. Технические средства host-ЭВМ

Host-ЭВМ CM-4 связана с сателлитной ЭВМ ДВК-3М линией связи, подключенной к платам последовательного доступа – DL КИ-СИ.

Минимальная конфигурация вычислительного комплекса, обеспечивающего работу установки, такова:

- Host-ЭВМ CM-4;
- Процессор CM-2104 с ОЗУ объемом 64К;
- Накопитель на магнитных дисках типа ИЗОТ-1370;
- Накопитель на магнитной ленте типа CM-5300;
- Символьный дисплей типа ВТА-2000, CM-7209 и т. п.;
- Устройство широкой печати DZM-180;
- Стойка КАМАК со следующими модулями:
  - CLOCK GENERATOR 730A,
  - TIMER 131.003,
  - RELAY DRIVER,
  - STEP-MOTOR DRIVER,
  - STEP-MOTOR DRIVER,
  - ПРИВОД V-340,
  - КРЕЙТ КОНТРОЛЛЕР.

Непосредственное управление фотометром и сбор данных осуществляется с помощью аппаратуры КАМАК.

Управление системой осуществляется с пульта CM-4, представляющего собой символьный дисплей, включенный стандартным образом в операционную систему.

Автономное управление прибором можно выполнять с терминала, подключенного к МИНИ-ЭВМ.

На рис. 3 более детально расписан состав блока электроники управления.

##### 4.2. Технические средства сателлитной ЭВМ

При построении системы управления фотометром использованы следующие стандартные модули КАМАК, адресуемые по шине КАМАК:

1. Выходной регистр, тип 350.
2. Входные ворота, тип 321.
3. Двухканальный счетчик с предустановкой, тип 420А.
4. Модуль времени MB-1.
5. Двухканальный цифро-аналоговый преобразователь 2ЦАП10.
6. Четверенный счетчик, тип 401.

7. Два таймера 131.003.
8. Регистр запросов, тип 303.
9. Синхронизатор СТ-1.

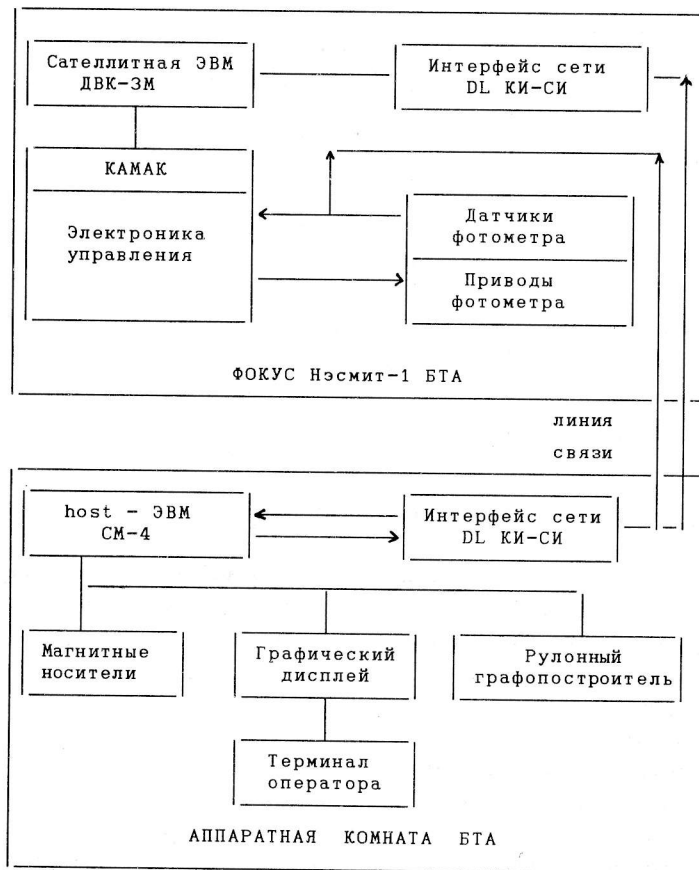


Рис. 2. Схема размещения аппаратуры фотометра.

Кроме того, использованы неадресуемые по шине КАМАК модули:

1. Высоковольтный источник напряжения, тип 1904.
2. Четыре модуля управления шаговыми двигателями.

Последние не являются стандартными. Разработаны и изготовлены специально для управления шаговыми двигателями приводов фотометра, но могут иметь и самостоятельное применение.

С помощью выходных регистров приводов (см. рис.3) типа 350 и модулей управления шаговыми двигателями в обмотки двигателей подаются необходимые токи в соответствии с формируемой временной диаграммой. В приводах фотометра используются двигатели постоянного тока, асинхронные двигатели и шаговые двигатели. Временная диаграмма токов двигателей формируется программным



способом процессором спутниковой ЭВМ через регистры и модули управления.



Рис. 3. Блок-схема электроники управления фотометра.

Напряжения с выхода первого и второго каналов ЦАП подаются на светодиоды фотометра для создания необходимых эталонных засветок. При этом токи светодиодов стабилизируются с помощью специальной схемы так, что имеет место однозначное преобразование входного кода ЦАП в ток, проходящий через светодиод. Временная диаграмма токов (а, следовательно, и яркостей светодиодов) может задаваться программно, что обеспечивает формирование излучения стандартных источников по любой заданной модели.

Модули времени, в состав которых входят: генератор-синхронизатор типа СТ-1, таймер типа 131.003, счетчик типа 420А, в совокупности определяют все необходимые для работы фотометра частоты и временные интервалы. Конкретные значения интервалов определяются программно.

Входные регистры физически представляют собой два модуля. Первый - "входные ворота" типа 321. С его помощью спутниковая ЭВМ может считывать значение любого позиционного датчика механизмов фотометра. В основном это датчики "нуль-пунктов" шаговых двигателей, датчики текущей позиции и конечных положений двигателей других типов. Другой модуль - регистр прерываний типа 303. На его входы подаются сигналы с датчиков положения модулятора. Регистр прерываний в совокупности с таймером 131.003 и синхронизатором СТ-1 формирует время начала и конца элементарной экспозиции при измерении объекта или фона при модуляции светового потока "объект-фон". Кроме того, таймер 131.003 используется для формирования квантов времени при наблюдении кривой блеска, а также используется программами установок механизмов для отсчетов временных задержек, обеспечивающих демпфирование двигателей.

Одной из основных особенностей работы электрофотометра является модуляция светового потока, падающего на катод ФЭУ, которая осуществляется

модулятором "объект-фон". Система электромагнитных датчиков положения и блок электронной коммутации снабжают каждую элементарную экспозицию в секторе "объекта" и секторе "фона" служебными признаками. Фотометрическая информация поступает на входные регистры счетчиков - модулей КАМАК "Счетверенный счетчик типа 401". По заполнении одного из двух буферов сателлитной ЭВМ информация передается в host-ЭВМ, где записывается на магнитный диск в подготовленный для нее файл.

#### 5. ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФОТОМЕТРА НЭФ-1

Для обеспечения наблюдений с электрофотометром НЭФ-1, обработки информации, полученной на нем, была создана "Автоматизированная система управления, регистрации и обработки данных электрофотометра фокуса Нэсмита-1 БТА" - "ФОТОН-1". Основные функциональные возможности этой системы были изложены в разделе 2. Подробное описание ее и тексты программ приведены в "Отчете САО" (Зиньковский и др., 1989). Здесь мы опишем некоторые детали построения и реализации системы "ФОТОН-1".

Посредством системы диалогового режима и выбора из "меню" реализуются различные варианты фотометрических наблюдений, обрабатывается астрофизическая и служебная информация, поступающая с электрофотометра, обеспечивается управление исполняющими механизмами оптико-механических узлов фотометра через драйверы этих устройств и программно-аппаратный интерфейс, контролируется состояние комплекса технических средств системы.

Работа с системой может происходить на английском или русском языках, включая диалог, "меню", сообщения и др.

Вся исходная информация, полученная во время наблюдений, записывается в архив наблюдений в виде, подготовленном для ее дальнейшей редукции и детальной обработки.

Обработка данных и получение фотометрических характеристик исследуемого объекта, яркости фона ночного неба, параметров атмосферной экстинкции и др. может осуществляться как во время выполнения наблюдений, так и после.

Система "ФОТОН-1" функционирует на двухмашинном вычислительном комплексе, состоящем из ЭВМ типа СМ-4 и МИКРО-ЭВМ типа ДВК-3М.

ЭВМ ДВК-3М служит для регистрации, накопления и передачи накопленных данных в host-ЭВМ СМ-4, а также для выдачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы электрофотометра. На ЭВМ СМ-4 ведется диалог системы с пользователем, установка режима наблюдений, архивизация и обработка полученных данных, хранение программ. ДВК-3М установлена на балконе Нэсмита-1 БТА.

Программное обеспечение системы "ФОТОН-1" host-ЭВМ СМ-4 реализовано в операционной среде NTS и позволяет вести работу в многотерминальном режиме. Языки программирования - ФОРТРАН И АССЕМБЛЕР с использованием макробιβотеки структурных расширений MACRO-11/SP (User manual, 1977).

Программное обеспечение связи ЭВМ СМ-4 и ЭЛЕКТРОНИКИ-МС 1201.01 (ДВК-3М) ориентировано на систему межмашинной связи SCCS, описанную Ерухимовым и Черненковым (1988). Все программы сателлитной ЭВМ работают в реальном масштабе времени, написаны на языке АССЕМБЛЕР, занимают около 11 К дисковой памяти СМ-4 и при необходимости автоматически вызываются и запускаются в

ДВК-ЗМ.

Накопление информации происходит в МИКРО-ЭВМ в режиме двойной буферизации. После заполнения одного буфера накопление продолжается в другой буфер, а содержимое первого буфера пересылается в host-ЭВМ и дописывается в специально выделенный файл. После завершения накопления в главной ЭВМ происходит перекодировка полученной информации и запись ее в архивный файл. Затем, по желанию пользователя, возможна обработка этой информации одновременно с накоплением следующей информации.

#### 5.1. Программные средства host-ЭВМ

Программное обеспечение host-ЭВМ системы "ФОТОН-1" включает в себя в общей сложности более 100 программ. Поскольку все программы системы одновременно не помещаются в оперативную память, то они разбиты на крупные функциональные блоки и замещают в оперативной памяти одна другую в зависимости от требований пользователя. Во время работы с системой диспетчерские функции подключения необходимой программы (или блока программ) реализуются через резидент системы. Все функции по осуществлению взаимодействия программ, внутренней диагностики, организации файлов система осуществляет без всяких внешних проявлений. При этом преследовалась цель избавить астронома-оператора от избыточной для него информации.

Широко использованный принцип выбора из "меню" существенно облегчает работу с системой. Внешне эта работа построена следующим образом.

Основное рабочее состояние системы такое, когда она находится в главном "меню". Это "меню" выводится на экран терминала СМ-4 сразу же в начале работы основного загрузочного модуля системы "ФОТОН-1". В "меню" содержится 24 основных позиции-функции. При входе в выбранную функцию система переходит на следующий технологический уровень. Часть из этих функций имеет свое вложенное "меню", часть - переходит непосредственно к диалогу. После выбора функции или заполнения бланка какого-либо "меню" второго уровня система переходит к диалогу. При ведении диалога на экране в виде подсказки указывается формат вводимых параметров и образцы ответов на вопросы. Порядок заполнения бланков "меню", поля возможных параметров оператор может просмотреть в соответствующем справочнике-подсказке.

По завершении заполнения бланка "меню" и выбора соответствующей функции система осуществляет обработку введенной информации параллельно с ведением диалога, если таковой необходим. Во время выполнения поставленной задачи, при прохождении важных ее узлов, система выводит на экран соответствующее сообщение или выходит на следующий этап диалога.

Программное обеспечение host-ЭВМ снабжено широким набором внутренней диагностики. Система по умолчанию осуществляет контроль правильности работы основных программ, корректности установки используемых параметров, формирования файловой системы и пр. Если работа программ протекает в заданном режиме, если отсутствуют ошибки и сбои при формировании файлов и работе с ними, если установленные рабочие параметры системы соответствуют внутренним технологическим требованиям, система продолжает работу без внешних проявлений. В противном случае, при обнаружении каких либо из указанных отклонений, на экран управляющего терминала выдается соответствующее сообщение диагностики.

## 5.2. Программные средства спутниковой ЭВМ и межмашинная связь

Программное обеспечение (ПО) фотометра в значительной мере базируется на элементах системы межмашинной связи, разработанной Ерухимовым и Черненковым (1988). Обмен файлами между host-ЭВМ и локальной ЭВМ построен на использовании функций *IFDRW*, *IFDRR* и *IFDRC*.

Параметры, определяющие положение механизмов фотометра и режим накопления, считываются с диска host-ЭВМ функцией *IFDRR* после того, как локальной ЭВМ будет послана команда "считать файл задания".

Два основных состояния в работе программного обеспечения:

- ожидание этой команды;
- накопление в заданном режиме.

Файл задания открывается на диске после заполнения астрономом-оператором мандата сборки оптико-механической схемы фотометра и выбора моды наблюдений. После чего локальной ЭВМ посылается команда "считать файл задания".

Считанный файл размещается в области памяти, названной блоком входных регистров. Здесь хранятся параметры исходных установок. Кроме того, в памяти выделен блок выходных регистров. По составу он дублирует блок входных регистров, но имеет иное назначение. Здесь хранятся текущие состояния механизмов и узлов фотометра.

ПО локальной ЭВМ информирует астронома-оператора о прохождении тех или иных узловых моментов в программе. Например, о том, что не обнаружен файл задания; не понятна команда, задающая режим накопления; вызвана та или иная подпрограмма накопления и т. д.

Выход из подпрограммы накопления в состояние ожидания команды на начало нового накопления возможен двумя способами. Первый - по таймеру. Время накопления отсчитывается вторым каналом счетчика 420 А. Второй способ применяется, если надо закончить накопление досрочно, до истечения времени, заданного в счетчике. Для этого по линии связи посылается код экстренного завершения накопления.

## 6. ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В комплексе используются фотоумножители типа ФЭУ-106, имеющие полупрозрачный катод типа S-20, напыленный на искусственной слюде. Прежде чем окончательно остановиться на данном типе ФЭУ, при создании фотометрической системы были проведены детальные исследования новых фотоумножителей, выпускаемых советской промышленностью, пригодных для широкополосной астрофотометрии и имеющих размеры рабочей области катода не менее 5 мм. Из шести типов ФЭУ, исследованных нами (результаты этих исследований опубликованы в работе Неизвестного и др., 1984), для построения фотометрических систем в спектральном диапазоне от 3000 А до 8500 А наиболее выгодно применение фотоумножителя типа ФЭУ-106. Несмотря на некоторые недостатки, этот ФЭУ в сравнении с другими типами ФЭУ обеспечивает наибольшую квантовую эффективность в системе  $U$ , высокий динамический диапазон, низкие темновые шумы, большую стабильность фотометрических характеристик в течение длительного вре-

мени эксплуатации.

Кривые реакции инструментальной  $ubvr$ -системы в сравнении со стандартной UBVR-системой Джонсона показаны на рис. 4. Некоторые характеристики этих систем приведены в табл. 5.

Эффективные длины волн указаны для спектрального распределения излучения звезд класса А0 V. В скобках указана толщина стекол в миллиметрах.

Ниже приведены формулы трансформации величин и цветов из инструментальной системы НЭФ-1 ( $ubvr$ ) в стандартную систему Джонсона (UBVR):

$$V = v - 0.008 \cdot (b-v) - 0.148^m \cdot M(z) - 0.03 \cdot (b-v) \cdot M(z) + 23.28^m,$$

$$(U-B) = 1.002 \cdot (u-b) - 0.26^m \cdot M(z) - 0.01 \cdot (u-b) \cdot M(z) - 2.34^m,$$

$$(B-V) = 1.008 \cdot (b-v) - 0.12^m \cdot M(z) - 0.03 \cdot (b-v) \cdot M(z) + 1.17^m,$$

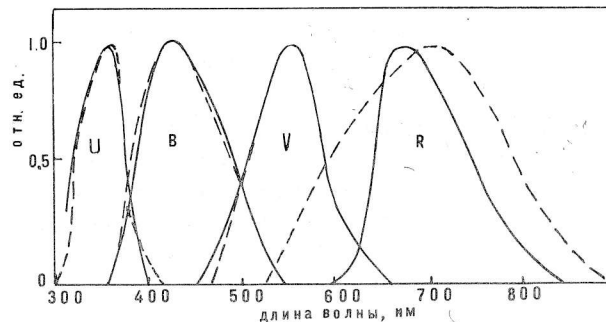
$$(V-R) = 0.985 \cdot (v-r) - 0.06^m \cdot M(z) + 1.23^m.$$

Таблица 5. Характеристики UBVR-системы фотометра НЭФ-1

| Система | Фильтр                                 | $\lambda_{\text{макс}}$ | $\lambda_{\text{эфф}}$ , нм | $\lambda_{\text{макс}}$ | $\lambda_{\text{эфф}}$ , нм |
|---------|--|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
|         | Фотометрическая система НЭФ-1          |                         | Система Джонсона            |                         |                             |
| u       | УФС-2(2)<br>СЗС-21(2)                  | 358                     | 360                         | 365                     | 360                         |
| b       | СС-5(1.5)<br>ЖС-10(2.5)<br>СЗС-21(2)   | 420                     | 445                         | 415                     | 440                         |
| v       | ЖЗС-18(2)<br>ЖС-16(2.5)<br>СЗС-17(1.5) | 535                     | 549                         | 535                     | 550                         |
| r       | КС-14(4)                               | 669                     | 692                         | 710                     | 710                         |

Эти формулы приведены для зимнего сезона (они получены в январе 1989 г.), светоделитель 50%. Здесь даны средние значения коэффициентов экстинкции для зимнего сезона. Поскольку наблюдения в НЭФ-1, как правило, не проводятся на зенитных расстояниях более 60 градусов, то в этих формулах не учитывается эффект Форбса, имеющий небольшое значение (менее 0.005 зв. величины) при использовании стандартного дифференциального метода на таких зенитных расстояниях. В формулах приведены средние значения нуль-пунктов фотометрической системы для данного сета наблюдений.

Рис. 4. Кривые реакции инструментальной (сплошная линия) и стандартной (пунктирная линия) фотометрических систем.



## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные лабораторные исследования фотометра НЭФ-1 были завершены в декабре 1988 года. С января по апрель 1989 года было проведено три пробных сета наблюдений на БТА. Калибровка и исследование инструментальной фотометрической системы, выполненные в этот период, показали близость ее к стандартной фотометрической системе Джонсона (см. предыдущий раздел). С сентября 1989 года начались работы с фотометром НЭФ-1 по программным наблюдениям на БТА параллельно со сканером, а с января 1990 года с фотометром проводятся регулярные наблюдения. Синхронные наблюдения со сканером БТА показали, что для обеспечения фотометрических привязок спектров и параллельной UBVR-фотометрии достаточно подавать на фотометр 6 % от общего потока света, для обеспечения разумных точностей фотометрии. Так, при синхронных наблюдениях объектов, имеющих звездную величину  $V=18.0^m$  и 6 % света, идущего в канал фотометра, за 10 минут экспозиции точность измерения в фильтре U равна  $0.06^m$ , в фильтрах BVR -  $0.02^m-0.04^m$ . В ближайшее время предусматривается дальнейшее развитие фотометра, его системы сбора в соответствии с планами совершенствования системы сбора спектрофотометрической информации светоприемной аппаратуры фокуса Нэсмита-1 БТА. Планируется, в частности, перейти на более мощную и надежную host-ЭВМ, обеспечивающую многопроцессный режим работы.

## ЛИТЕРАТУРА

- Драбек С.В., Копылов И.М., Сомов Н.Н., Сомова Т.А.: 1986, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 22, с. 64.
- Ерухимов Б. Л., Черненко В.Н.: 1988, SCCS - малая система межмашинной связи для автоматизации научных исследований в территориально-распределенных средах, САО АН СССР, препринт 17.
- Журавков А.В., Плахотниченко В.Л.: 1989, Аппаратура кодирования событий с высоким временным разрешением - "КВАНТОХРОН", отчет САО.
- Зиньковский В. В., Левитан Б. И., Назаренко А. Ф., Неизвестный С. И.: 1989, Программно-математическое обеспечение электрофотометра фокуса Нэсмита-1 БТА, отчет САО.
- MACRO-11/SP User manual: 1977, by D. L. Heron, South Australian Institute of Technology.
- Неизвестный С.И., Пимонов А.А.: 1978, *Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв.*, 23, с.56.
- Неизвестный С.И., Дебур В.Г., Георгиева Г.А.: 1984, *Сообщ. Спец. астрофиз. обсерв.*, 44, с. 5.

Поступила в редакцию  
13 апреля 1990 г.