

УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНОГО ЗВЕЗДНОГО СПЕКТРОГРАФА БТА.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАМЕРЫ № 1

Э. Б. Гажур, И. Д. Найденов, В. Е. Панчук, Е. И. Перепелицын

Реализован комплекс инженерных решений, позволяющих эффективно выполнять на 6-метровом телескопе спектроскопические наблюдения с обратной дисперсией 1.7—5.4 Å/мм. Созданы предпосылки для дальнейшего увеличения информативности Основного звездного спектрографа БТА.

A complex of engineering designs allowing to carry out the effective spectroscopic observations with a reciprocal dispersion of 1.7—5.4 Å/mm at the 6-meter telescope is realized. Predictions are made for the future informativity improvement of the Main stellar spectrograph of BTA.

Требования к современному спектрографу, предназначенному для наблюдений звезд с высоким спектральным разрешением, весьма разнообразны. Особо выделим высокую позиционную точность, сочетаемую с максимально возможной фотометрической точностью. Конструкция спектрографа должна обеспечивать удобство и надежность эксплуатации, гибкость схемы использования и возможность быстрой перестройки этой схемы, стабильность эксплуатационных характеристик в течение длительного периода. Два последних условия необходимы, в частности, для реализации в течение одной ночи набора наблюдательных вариантов использования спектрографа без существенных потерь времени на контроль характеристик каждого очередного варианта. Хорошо развитая схема Основного звездного спектрографа (ОЗСП) БТА [1] в принципе согласуется с многопрограммным статусом 6-метрового телескопа, но не все вышеперечисленные требования в должной мере удовлетворены конструктивно. Анализ частоты использования различных вариантов работы ОЗСП показал, что подавляющее число спектрограмм получено на камере № 2, а длиннофокусная камера № 1 использовалась крайне редко. Поэтому мы предприняли ряд конструктивных изменений, преследуя цель ввода в активную эксплуатацию камеры № 1 с сохранением и улучшением эксплуатационных характеристик камеры № 2.

Камера № 1 — анализ схемы и решение. Задача получения спектра с высоким спектральным разрешением в максимально широком диапазоне длин волн практически всегда решается при условии существенных потерь света на входной щели. В случае использования длиннофокусных камер хорошо стабилизированных кудэ-спектрографов такие потери частично могут быть компенсированы увеличением времени экспозиции. Исследование позиционных характеристик камеры № 1 ОЗСП [2] показало, что спектральное разрешение есть функция интервала времени от момента первого наведения БТА на объект до начала экспозиции и функция времени экспозиции. Это приводит к ситуации, когда в классе задач, требующих высокого спектрального разрешения, ОЗСП БТА сравним с кудэ-спектрографом 1-метрового телескопа.

Проиллюстрируем сказанное следующей оценкой. Предположим, что светосила 1- и 6-метрового телескопов в длиннофокусных вариантах (фокусы Кудэ и Нэсмита соответственно) одинакова. Тогда масштаб изображения на щели

спектрографов различается в 6 раз. Размер входной щели в варианте работы спектрографов с наиболее длиннофокусными камерами ($F=3000$ мм) пропорционален диаметру коллимированного пучка, т. е. определяется достижениями технологии изготовления дифракционных решеток больших размеров с числом штрихов 600—1200 на 1 мм. Поэтому прием размер входной щели одинаковым при одинаковых значениях обратной дисперсии. Следовательно, выигрыш по потоку в 36 раз будет снижен в 6 раз из-за потерь света на входной щели из-за различного масштаба изображений. Дальнейшее снижение преимуществ рассматриваемого варианта использования ОЗСП БТА связано с различием предельного времени экспозиции для сравниваемых схем в 3—4 раза, а потери света, определяемые особенностью схемы камеры № 1 ОЗСП, полностью ликвидируют кажущееся преимущество БТА перед 1-метровым телескопом в задаче получения спектров с обратной дисперсией 1.5—3 Å/мм.

Остановимся теперь на некоторых конструктивных особенностях камеры № 1. Высокие требования по размеру кружка рассеяния (10 мкм), заложенные в задании на проектирование, привели к появлению менискового корректора, что нетипично для камер близкой светосилы. Стремление к одновременной регистрации спектра в широком диапазоне длин волн привело к выбору схемы скрещенной дисперсии в низких порядках спектра, что, в свою очередь, требует увеличения ширины кассетной части, расположенной на оси диспергированного пучка. По-видимому, камеру предполагалось использовать на длительных экспозициях, так как в схеме присутствует компенсатор вращения поля и компенсатор атмосферной дисперсии. Для исправления аберраций кроме смещенного мениска используется цилиндрическая линза. Разведение порядков осуществляется призмой двойного хода, что наряду с перечисленными конструктивными особенностями приводит к большим световым потерям. Исследование позиционных характеристик ОЗСП показало, что требования по кружку рассеяния, определяющие в основном перечисленные конструктивные особенности, являются избыточными для спектрографа. В то же время по числу передаваемых элементов спектра камера № 1 не имеет равных среди других спектральных камер БТА, поэтому было решено реализовать комплекс мероприятий по увеличению проникающей способности камеры, согласовав ее аберрации с характерной величиной позиционных нестабильностей. Ожидаемое при этом снижение продолжительности экспозиций приведет к снижению влияния нестабильностей.

Размеры ОЗСП, конструктивная и технологическая независимость его механических узлов создали благоприятные условия для выполнения комплекса таких мероприятий без нарушения графика наблюдений. Кроме этого, мы стремились сохранить возможность перехода к старому варианту конструкции каждого узла. Поэтому в случае необходимости разрабатывались новые узлы и изделия, устанавливаемые на посадочные места старых.

Диспергирующий узел камеры № 1.

До модернизации узел дисперсии камеры № 1 состоял из дифракционной решетки и порядкоразделительной призмы двойного хода [1]. Такая схема ограничивала круг задач, решаемых на камере № 1, по следующим причинам:

— использовалась принципиально одна решетка, работающая в 4-м, 5-м и 6-м порядках, т. е. набор обратных дисперсий был зафиксирован;

— для подавляющего большинства спектральных классов звезд спектрограммы получались с очень большим набором плотностей почернения, т. е. ошибки фотометрирования таких спектрограмм снижали основное преимущество — большое число передаваемых элементов;

— спектрограммы имели переменную кривизну с переменным наклоном линий к оси спектра, т. е. решение задач, связанных с позиционными обмерами спектра, было затруднено;

— порядкоразделительная призма определяла сильное поглощение в ультрафиолетовом диапазоне, поэтому 6-й порядок спектра практически не использовался.

Мы изменили схему диспергирующего узла, отказавшись от использования преимуществ скрещенной дисперсии. Порядкоразделительная призма удалена, дифракционная решетка установлена перпендикулярно к меридиональной пло-

скости спектрографа. При конструировании оправы решетки мы избежали виньетирования светового пучка, идущего от щели к коллиматору, в широком диапазоне углов наклона решетки, что позволило использовать решетки с другими углами блеска. Новый узел крепления решетки позволяет юстировать ее вместе с оправой относительно оси камеры № 1, что дает возможность осуществлять перестановку решеток в узлах дисперсии камер № 2 и № 3, и камеры № 1 без переюстировки решеток внутри их оправ, т. е. быстро изменять схему использования ОЗСП.

Перечислим новые возможности, которые дала такая схема.

1. Стало возможным использовать любую дифракционную решетку из комплекта ОЗСП (в диапазоне углов блеска от 8 до 29°). Это позволило ликвидировать разрыв в обратных дисперсиях, существовавший ранее (см. табл. 1 в [1]). Кроме возможности наблюдать с новыми значениями обратной дисперсии 2.7 и 5.4 Å/мм использование других решеток позволяет оптимизировать отдельные варианты наблюдений либо по световой эффективности, либо по числу элементов, передаваемых в заданном интервале плотности почернения (подробнее см. [3]).

2. Исключены потери света (36 %), связанные с двойным прохождением порядкоразделительной призмы.

3. Изображение спектра стало прямолинейным, что значительно повысило простоту и точность измерения спектра и создало предпосылки для уменьшения ширины фотопластинки и кассеты.

4. Появилась возможность уширения спектра ярких звезд поперек дисперсии механизмом, используемым для уширения спектра в камерах № 2 и 3 (см. рисунок). Высота спектрограммы при этом может превосходить 3 мм, что позволяет ставить на ОЗСП новый класс задач, связанный с обеспечением высокой фотометрической точности в широком диапазоне длин волн (в частности, составление фотометрических атласов спектров ярких звезд).

5. Появилась возможность одновременной регистрации разных участков спектра на фотоэмульсиях разного сорта.

Кассетная часть камеры № 1. Большие габариты кассеты камеры № 1 в прежней схеме создавали повышенное осевое виньетирование диспергированного пучка и приводили к повышенному расходу фотоматериала. Поэтому после переработки узла дисперсии мы изменили конструкцию кассетной части.

В работе [2] показано, что величина позиционных нестабильностей в камере № 1 сравнима с величиной сферической аберрации зеркала камеры. Поэтому из схемы камеры мы удалили менисковый корректор и цилиндрическую линзу. Потери света снизились более чем на 30 %. Затем были окончательно определены требования к габаритам и положению кассетной части. Формат каждой из четырех пластинок, прижимаемой к фокальной поверхности, изменен — 300×32 мм против 300×52 мм ранее, ширина рабочей части фотопластинки равна 20 мм. Изменение габаритов кассеты позволило снизить потери света из-за центрального экранирования на 10 %. Дополнительно был также разработан механизм перемещения кассеты поперек дисперсии. Кассета может перемещаться на 20 мм шагами по 2.5 мм (что соответствует одной угловой секунде на входной щели ОЗСП), причем параллельность перемещения обеспечивается тросовыми направляющими. Конструкция допускает относительный перекосяк кассеты менее $1 : 10\,000$ даже в случае несинхронной работы двух храповых механизмов перемещения. Перечислим новые возможности такой конструкции.

1. На рабочей части пластинок можно получить либо две спектрограммы с максимальным уширением (более 3 мм, в зависимости от качества изображения звезды), либо до пяти спектрограмм высотой по 1.5 мм каждая. Можно получить также две пары зеемановских спектров.

2. Общий электрический привод перемещения кассеты позволяет выполнять дистанционное управление с пульта у щелевой части, т. е. экономить время на перезарядку кассеты. Кроме того, появилась принципиальная возможность получать серию спектрограмм без обязательного присутствия наблюдателя на ОЗСП.

3. В результате удаления из схемы стеклянных элементов (мениска, порядко-разделительной призмы и цилиндрической линзы) стало возможным выполнять наблюдения в диапазоне 3100—3600 Å.

Узел фотогида ОЗСП. Система местного автоматического гидирования объекта на щели ОЗСП основана на том, что часть собранного телескопом света отражается от щечек щели спектрографа. Этот принцип затрудняет сочетание с фотогидированием ряда широкощельных методов наблюдений (резатель изображений, эталон Фабри—Перо, светосильная камера № 3, растровая техника). Кроме того, оптическая схема фотогида (рисунок) не позволяла осуществлять непрерывный визуальный или телевизионный контроль качества работы фотогида. Для устранения этих недостатков принцип работы фотогида по части изображения мы заменили принципом работы по целому изображению, но это изображение образуется неиспользуемым в данный момент спектральным интервалом. Плоское зеркало предщелевой части, направляющее свет на щель

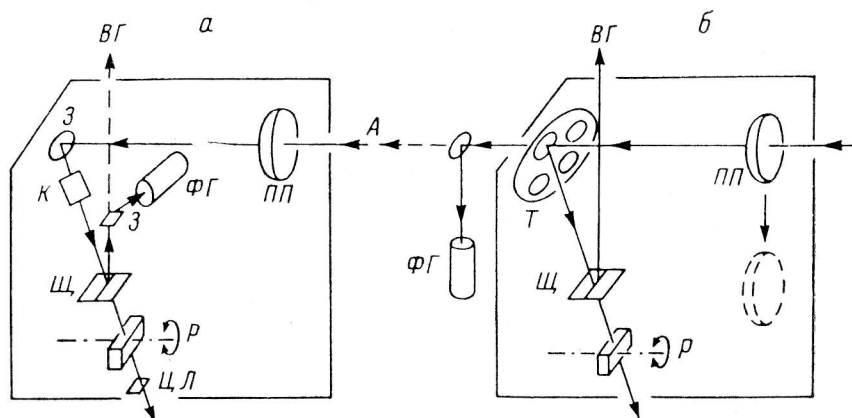


Схема прежней (а) и модифицированной (б) щелевой части ОЗСП.

ПП — плоскопараллельная пластина фотогида ФГ; Щ — узел щели; Р — узел расширителя спектра; ВГ — визуальный подсмотр щели; З — зеркала; Т — турель с дихроичными зеркалами; К — компенсатор вращения поля и атмосферной дисперсии; ЦЛ — цилиндрическая линза. В направлении А может быть установлена дополнительная светоприемная аппаратура.

ОЗСП, заменено набором зеркал с избирательным отражением и пропусканием (см. рисунок). Одновременно изменена конструкция предщелевой части — оптика фотогида удалена из нее и фотогид установлен после турели с набором дихроичных зеркал. В этом варианте фотогид использует ту часть спектра звезды, которая в данный момент не используется для получения спектрограммы. Визуальный гид установлен в схеме постоянного подсмотра щели, компенсатор вращения поля демонтирован. Перечислим преимущества такого решения.

1. Вследствие применения диэлектрических покрытий световые потери в ОЗСП снижены на 10 % как в синем, так и в красном диапазонах длин волн.

2. Получена возможность перехода к другим схемам гидирования: одновременная работа местного фотогида и ручная коррекция БТА, использование телевизионного подсмотра щели и др.

3. Получена принципиальная возможность выполнять параллельные (с работой ОЗСП) астрофизические измерения в спектральном диапазоне, неиспользуемом в данный момент на ОЗСП. Точно так же, как зеркало предщелевой части заменено светоделителем, зеркало в схеме фотогида тоже может быть заменено светоделителем, пропускающим часть спектра на другой прибор.

4. С целью контроля позиционной стабильности ОЗСП стало возможным сочетать непрерывное экспонирование спектра сравнения в течение всей экспозиции с работой фотогида. В прежней схеме фотогид реагировал на изображения освещенных призм канала спектра сравнения.

5. Регулировкой электрической схемы фотогида можно компенсировать эффект атмосферной дисперсии, т. е. заставить фотогид, работающий по красной

(синей) части диспергированного изображения звезды, удерживать симметрично на щели синюю (красную) часть изображения.

6. Получена возможность устанавливать вместо щели более эффективные по пропусканию устройства, использующие в данной области спектра практически все изображение звезды.

В стремлении к максимальному исключению потерь света в ОЗСП была рассмотрена возможность удаления плоскопараллельной пластины местного фотогида из оптического тракта БТА с воспроизводимым возвратом ее на место. Этот вариант может быть использован при работе ОЗСП с общим фотогидом. Была разработана конструкция узла, в котором пластина с органами управления установлена на подвижном основании, снабженном механизмом подъема и опускания (см. рисунок). В нижнем положении пластина выводится из пучка, что позволяет снизить потери света на 15—20 % и устранить две поверхности, условия поляризации излучения на которых переменны в течение экспозиции.

В прежней схеме ОЗСП необходимая для работы фотоэкспонетра часть света отбиралась зеркалами, световая тень которых была согласована с размерами кассеты камеры № 1. С целью предотвратить ненужные потери света при фотоэлектрических наблюдениях на ОЗСП зеркала фотоэкспонетра установлены на откидном кронштейне, что позволяет выводить их из пучка света, падающего на коллиматор.

Результаты практического применения. В результате перечисленных конструктивных изменений проникающая способность ОЗСП существенно измени-

Теоретические оценки экономии светового потока при изменениях схемы ОЗСП

Процедура	Экономия света, %	Коэффициент пропускания
Вывод из пучка пластины фотогида	19	0.81
Применение дихроичных зеркал	10	0.73
Удаление порядкоразделительной призмы	36	0.47
Удаление мениска и цилиндрической линзы	23	0.36
Изменение габаритов кассеты	10	0.32
Замена дифракционной решетки	25	0.24

лась как в режиме работы с камерой № 1, так и в других вариантах. В таблице приведена сводка теоретических оценок пропускания удаленных из схемы или модернизированных элементов ОЗСП, откуда видно, что суммарное пропускание после модернизации должно было увеличиться в $(1 - 0.24) : 0.24 = 3.2$ раза. Практически при наблюдениях получены следующие данные.

1. При фотоэлектрических измерениях магнитного поля звезд с использованием линии 4481 \AA (спектральное разрешение 0.08 \AA) выигрыш по потоку составил 4 раза. Наблюдатели — группа Ю. В. Глаголевского.

2. При фотографических наблюдениях спектров горячих звезд выигрыш в экспозиции составил 4 раза. Наблюдатель — Е. Л. Ченцов.

3. При фотографических наблюдениях магнитных звезд с анализатором получена зеемановская спектрограмма звезды $V=6.2$ с обратной дисперсией 2.7 \AA/мм , причем при размере входной щели ОЗСП 0.15 мм и диаметре изображения 2 сек. дуги время экспозиции составило 1.5 ч. Наблюдатель — В. Д. Бычков.

4. Получены также спектрограммы холодных звезд с максимальным уширением спектра поперек дисперсии (более 3 мм), а также широко используется режим сдвига кассеты для получения на одной фотопластинке нескольких спектров. Наблюдатели — И. Ф. Бикмаев, В. Г. Ключкова, В. Е. Панчук.

Выводы. По результатам практического применения видно, что выполнение комплекса мер по оптимизации схемы ОЗСП расширило диапазон вариантов использования спектрографа. Проникающая способность спектрографа в вариантах работы с камерой № 1 повысилась более чем на одну звездную вели-

чину, что делает ее использование целесообразным. Кроме того, ряд конструктивных изменений ориентирован на дальнейшее развитие схемы и возможностей ОЗСП, намечены пути дальнейшего увеличения информативности спектрографа. Необходимость такой работы очевидна, если учесть, что для обеспечения заявок наблюдателей программный комитет распределяет на ОЗСП 25—30 % календарного времени.

Авторы считают приятным долгом поблагодарить В. Д. Бычкова и И. Ф. Бикмаева за помощь в переоборудовании и исследовании ОЗСП, сотрудников макетных мастерских за качественное выполнение работ.

Литература

1. К о п ы л о в И. М., Р ы л о в В. С. Спектральная аппаратура для 6-метрового телескопа (БТА). — Новая техника в астрономии. Л.: Наука, 1979, вып. 6, с. 24—31.
2. Б и к м а е в И. Ф., П а н ч у к В. Е. Исследование позиционных характеристик Основного звездного спектрографа 6-м телескопа (БТА). — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1986, 23, с. 112—117.
3. Б и к м а е в И. Ф., К л о ч к о в а В. Г., П а н ч у к В. Е. Фотометрические характеристики Основного звездного спектрографа 6-м телескопа (БТА). — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1986, 23, с. 118—126.

Поступила в редакцию 15.04.85