

УДК 520.9

## Прищелевая часть спектрографа и нетрадиционные конструкторские решения

*А. Ф. Лагутин*

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный  
*suf@crao.crimea.ua*

Поступила в редакцию 6 апреля 2011 г.

**Аннотация.** На примере прищелевой части спектрографа показаны нетрадиционные конструкторские решения; кратко упомянуты другие подобные задачи со ссылками на соответствующий материал – информация может подсказать неожиданные решения других задач.

THE ENTRANCE-SLIT BLOCK OF SPECTROGRAPH AND UNCONVENTIONAL DESIGN SOLUTIONS, *by A.F. Lagutin*. Unconventional design solutions are shown on example of the entrance-slit block of a spectrograph. References to other solutions of similar problems are given. This information may suggest unexpected options in construction of other devices.

**Ключевые слова:** прищелевая часть спектрографа, конструкция оптических приборов

---

### 1 Введение

Конструктор в своей деятельности, наряду с рутинными расчетами и построениями, встречается порою с задачами, решение которых обычными методами затруднено и требует привлечения вовсе не очевидных поначалу приемов, требует изобретательности. Причина этого чаще всего – стремление к улучшению, к совершенству произведения, но нередко – необходимость. В настоящей статье рассматриваются такие решения на примере прищелевой части спектрографа и других оптических устройств. При возможности показать такие решения в других доступных источниках, сообщения здесь кратки и снабжены ссылками на соответствующий материал.

### 2 Прищелевой агрегат

Прищелевая часть спектрографа обычно насыщена большим количеством мелких оптических и механических деталей, отчего прищелевой агрегат зачастую является самой сложной частью спектрального прибора. Это, как правило, следствие многофункциональности агрегата, он должен решать несколько трудносоединимых задач: в тесном объеме прищелья направлять свет от разных источников и к щели, и сквозь нее, и от нее по путям, совпадающим в пространстве и разнесенным во времени. По этой причине прищелевой агрегат обычно содержит несколько переключателей световых пучков, много подвижных элементов и их приводов.

При проектировании навесного спектрографа СОФИН для 2.5-метрового телескопа NOT (NORDIC OPTICAL TELESCOPE, о. Ла-Пальма, Канарские острова, Испания) нам удалось изобрести прищелевой агрегат, у которого все переключения пучков осуществляются одним шаговым двигателем (Проник, 1995; Лагутин, 1995). Там все тракты световых пучков расположены в одной плоскости веерообразно, и подвешенный на валу ШД блок призм, перемещаясь, выбирает нужный тракт для света. Конструкция сравнительно компактная, надежная (прибор работает на NOT уже около 20 лет).

В НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” в настоящее время строится новый эшелельный спектрограф (СПЭШКУ) для фокуса кудэ 2.6-метрового телескопа ЗТШ. Это крупный ( $f_{col.} = 6m$ ) стационарный прибор, расположенный к востоку от узла фокуса кудэ, в котором уже находятся входная щель и прищелевой агрегат штатного спектрографа ЗТШ, расположенного к югу от этого узла (спектрограф АСП-14 (Васильев, 1976)). К восточному прибору свет направляется переключающим пучки диагональным зеркалом, встроенным в узел фокуса кудэ. В этой же коробке фокуса кудэ закрепляются стокметр для поляриметрических исследований или йодная ячейка.

Первоначально в качестве прищелевого агрегата восточного спектрографа предполагалось использовать прежнюю нашу разработку и изготовить аналог агрегата СОФИН. Но из-за малого светового диаметра у стокметра расстояние от него до входной щели спектрографа весьма ограничено, значительная часть этого отрезка занята ходом света в коробке фокуса кудэ и на диагональном зеркале, из-за чего места для размещения агрегата СОФИН недостаточно.

Пришлось изобретать еще один прищелевой агрегат.

Ныне он уже осуществлен в стекле и металле. Принципиальная схема его и общий вид изображены на рис. 1–4 и рис. 5. Здесь переключения в с е х пучков осуществляются с помощью е д и н с т в е н н о г о зеркала; оно сидит на валу шагового двигателя перпендикулярно оси вращения, то есть плоское зеркало вращается в своей плоскости; рабочая часть зеркала и переключаемые пучки смещены относительно оси вращения, благодаря чему зеркало вводится в пучки или выводится, перекрывая свет, отражая его или пропуская мимо – в зависимости от угла поворота зеркала. В отличие от других конструкций переключающих зеркал и призм, такое вращение зеркала не требует его точной фиксации по углу в рабочих положениях; кроме того, вследствие близости плоскости изображения значительно снижены требования воспроизводимости положения отражающей плоскости, благодаря чему не требуется прецизионность оси вращения, зеркало закреплено на валу двигателя с обычными подшипниками.

(В коробке фокуса кудэ у перехватывающего диагонального зеркала теперь осуществлен тот же принцип: плоское зеркало вращается в своей плоскости; но подшипниками-подпятниками здесь являются два точных шарика в лунках, а привод – ручной – через “мягкий” вал.)

В прищелевой части восточного спектрографа переключающее зеркало с двигателем наклонено так, чтобы “веер” пучков расположился п о п е р е к коллиматорной оси спектрографа, оставив вдоль нее лишь короткий прищелевой отрезок пучков; благодаря этому новый агрегат поместился в тесном прищелевом пространстве. На рис. 1–4 изображена принципиальная схема прищелевой части (вид со стороны спектрографа).

Все оптические элементы прищелевого агрегата закреплены и неподвижны, за исключением вращающегося зеркала 2; в зависимости от его положения осуществляются следующие тракты световых пучков:

- I Телескоп 0<sub>1</sub> – спектрограф 0<sub>2</sub> (через 1, рис. 1).
- II Телескоп 0<sub>1</sub> – подсмотр 6 (через 1–2–5, рис. 1).
- III Телескоп 0<sub>1</sub> – камера фотогида 4 (через 1–3, рис. 2).
- IV Лампа плоского поля 7 – спектрограф 0<sub>2</sub> (через 9–2–1, рис. 3).
- V Лампа плоского поля 7 – камера фотогида 4 (через 9–2–1–3, рис. 3).
- VI Источник спектра сравнения 8 – спектрограф 0<sub>2</sub> (через 9–2–1, рис. 3).
- VII Источник спектра сравнения 8 – камера фотогида 4 (через 9–2–1–3, рис. 3).
- VIII Лампа плоского поля 7 – подсмотр 6 (через 9–2–1–2–5, рис. 4).
- IX Источник спектра сравнения 8 – подсмотр 6 (через 9–2–1–2–5, рис. 4).

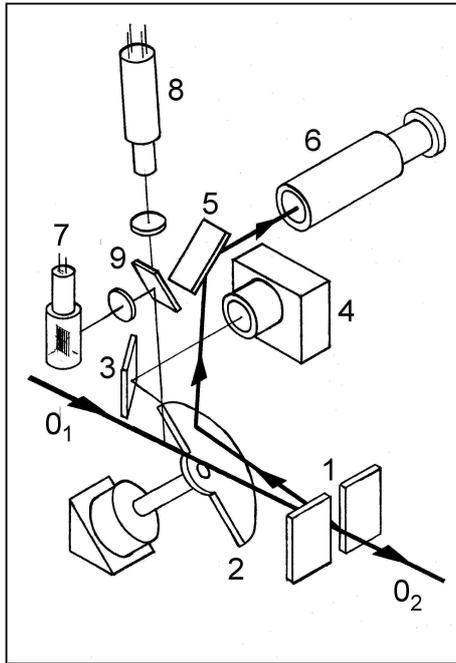


Рис. 1.

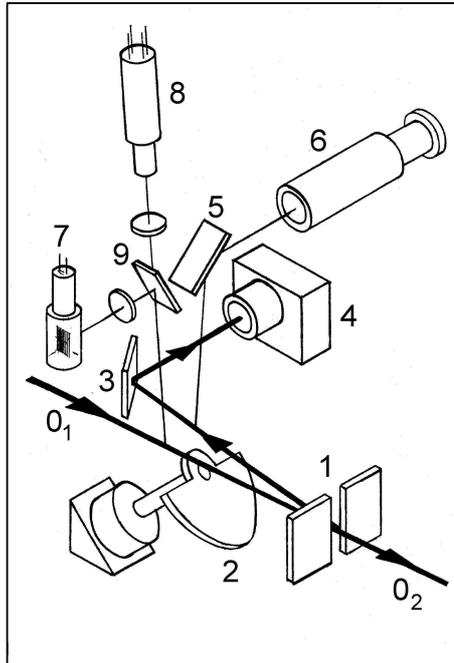


Рис. 2.

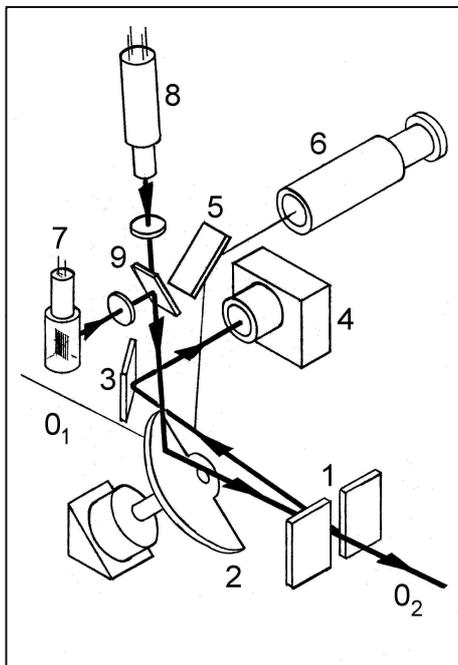


Рис. 3.

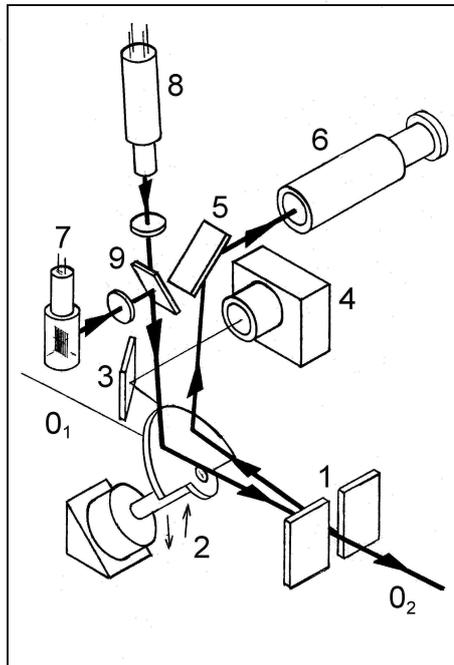
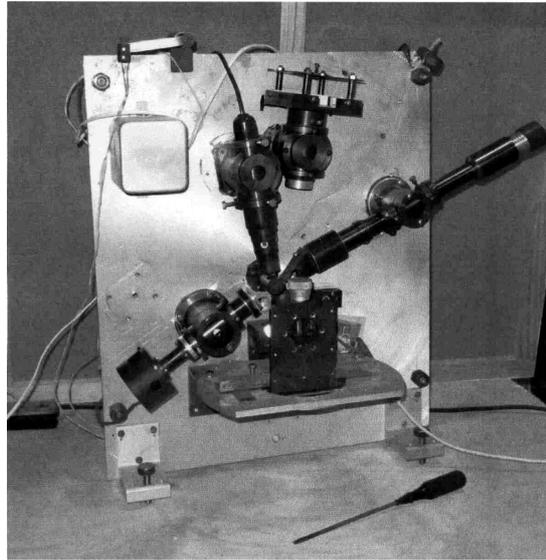


Рис. 4.

Принципиальная схема прицельной части. Пояснение к рисункам 1–4:

$O_1 - O_2$  – оптическая ось телескопа и ее продолжение в коллиматоре; 1 – зеркальная щель спектрографа; 2 – переключающее пучки зеркало; 3 – зеркало камеры фотогида; 4 – камера матричного фотогида; 5 – зеркало подсмотр щели; 6 – подсмотр щели спектрографа; 7 – лампа плоского поля; 8 – источник спектра сравнения; 9 – плоско-параллельная пластинка



**Рис. 5.** Общий вид прищелевой части спектрографа

Источник спектра сравнения 8 и лампа плоского поля 7 имеют частично общий тракт и переключаются путем переключения их электропитания. Назначение перечисленных трактов:

Тракт I – для прохождения света из телескопа в спектрограф.

Тракт II – для визуального контроля объекта наблюдения и его положения на щели.

Тракт III – для получения изображения светила и щели на экране дисплея при установке изображения на щель, для регистрации объекта наблюдения, для ручного гидрирования и для работы фотогида при длительной экспозиции.

Тракт IV – для калибровки спектрографа по плоскому полю.

Тракт V – для контроля и регистрации заполнения щели светом плоского поля.

Тракт VI – для калибровки спектрографа по спектру сравнения.

Тракт VII – для контроля и регистрации заполнения щели светом спектра сравнения.

Тракт VIII – для настройки и визуального контроля заполнения щели светом плоского поля.

Тракт IX – для настройки и визуального контроля заполнения щели светом спектра сравнения.

Конечно, не все тракты равноценны по частоте их использования, некоторые нужны только при настройке спектрографа.

Еще в прищелье много разных и объективов, и зеркал, и прочих элементов пришлось бы изобразить, если рассматривать возможные здесь световые тракты сверх перечисленных девяти. Используя обратную сторону переключающего зеркала 2 (стрелки под ним, рис. 4), можно реализовать тракт X подсмотра поля, тракт XI – для отсчета по шкале ширины щели и прочей информации; такую же информацию может принять тракт XII – в систему визуального контроля 6; но изображение всех этих световых каналов и оптических деталей затемнило бы принципиальную схему; к тому же в нашем прищелье не требуется их реализация: подсмотр поля уже имеется в коробке фокуса куда; ширину щели можно зафиксировать по номеру импульса в шаговом двигателе, вращающем механизм щели.

Реальная щель 1 – повторение прежней нашей разработки, полный аналог щели спектрографа СОФИН; ширина ее устанавливается с помощью ШД дистанционно, высота – вручную, передние плоскости зеркальные.

Переключающее зеркало 2 в действительности имеет форму прямоугольного флажка с шириной, достаточной для перехватывания одновременно обоих световых пучков по рис. 4.

Зеркала 3 и 5, как и 2, изготовлены из фотопластинок (требования плоскостности здесь невысокие ввиду близости плоскости изображения).

Приемник 4 – монохромная ССD-камера Meade.

Подсмотр 6 – микроскопическая система с большим передним отрезком.

Лампа плоского поля 7 – мощная кинолампа с регулировкой яркости.

Источник спектра сравнения 8 – торий-аргоновая лампа PHOTRON.

Светосводитель (“светоделитель наоборот”) 9 – наклонная плоско-параллельная пластинка без покрытия, изготовлена также из фотопластинок. Применение подобного “светосложения” в принципе позволяет увеличивать число вводимых световых каналов не только вдвое, как здесь, а и в большее число раз – при достаточном количестве световой энергии.

(Использование светосводителя в некоторых случаях позволяет упростить решение приборостроительных задач. В свое время автор предложил и реализовал этот прием при разработке гониометра ЛИТМО: поочередное введение изображений двух противолежащих участков лимба в поле зрения окуляра первоначально осуществлялось движением переключающих свет призм; замена этого механизма монолитным неподвижным блоком призм с полупрозрачной их границей и некоторые изменения в окуляре позволили повысить точность гониометра вдвое, смена изображений свелась к простому переключению лампочек тумблером. Впоследствии была информация о том, что в подобных приборах стали использовать оба изображения в поле зрения одновременно – к чему нетрудно было перейти от попеременного включения!)

Кроме рассмотренных оптических узлов, в состав прищелевого агрегата входят светофильтры и затвор. Как и в агрегате СОФИН, блок фильтров и обтюратора расположен позади входной щели (по ходу света). Он содержит в компактном сферическом корпусе турель с фильтрами и заслонку затвора, оба элемента пока с ручным переключением. Затвором с дистанционным управлением может служить вращающееся зеркало 2.

Фотография прищелевого агрегата на юстировочном столе (рис. 5) показывает действительное расположение оптико-механических узлов в предщелье – вид со стороны спектрографа, как и на рис. 1–4. В центре внизу – спектральная щель (без ШД); позади нее – переключающее зеркало; вокруг них – слева вверх направо – лампа плоского поля, источник спектра сравнения, камера фотогида (без ССD) и трубка подзора щели. У этого “веера” углы между составляющими значительно отличаются от изображенных на принципиальной схеме рис. 1–4. Такое расположение элементов вызвано не меняющимися принципами схемы причинами: у плоского поля и спектра сравнения – условиями прохождения света через пластинку светосводителя, у камеры фотогида – ориентацией изображения щели на экране телемонитора, у системы визуального контроля – удобным расположением окуляра. Кроме того, малый угол между лампой спектра и камерой определен малым углом падения света на щель, что полезно для качества изображения; габариты лампы и камеры позволили при их сближении в пределах агрегата получить суммарный угол  $15^\circ$ , то есть угол наклона щели  $7.5^\circ$ . (В агрегате СОФИН угол наклона щели  $13.5^\circ$ .)

Все узлы агрегата рис. 5 укреплены на жесткой плите; ей параллельны плоскость щели и все оси “веера”; каждый составляющий его узел имеет шесть степеней свободы, которые связаны шестью юстировочными винтами; юстировка завершается плотным затягиванием их. Свет из телескопа к щели попадает через отверстие в несущей плате. Эта плата и весь агрегат отвернуты от положения перпендикулярности оси телескопа на величину угла наклона щели, чем реализуется необходимый угол падения.

### 3 Другие примеры конструкторских решений

Как видно из предыдущего, нетрадиционное построение оптической схемы позволило упростить решение трудной задачи. Далее приведены еще другие примеры подобных ситуаций и решений.

Прищелевая часть многоканального спектрофотометра, предназначенного для работы в космосе на орбитальном телескопе, по предварительному техническому заданию должна была содержать большое число дополнительных элементов сверх обычных атрибутов спектрального прибора:

в приборном отсеке будущего телескопа “Спика” надо было разместить около десятка различных светоприемных устройств – и в каждое поочередно завести изображение, построенное телескопом. Многочисленным подвижным призмам и зеркалам не хватало места, космический вакуум грозил свариванием трущихся поверхностей в механизмах, их герметизация представлялась нереальной – а заедание хоть одной подвижки сводило на нет весь космический эксперимент. Но не всем приемникам требовалось высококачественное изображение, что позволило разместить их входные элементы вокруг входной диафрагмы спектрофотометра – плотно и неподвижно, а переключение пучков осуществлять малой перенаводкой всего телескопа, используя штатное устройство коррекции наводки. (Впоследствии число приемников значительно сократилось.)

Спектральный прибор этого орбитального телескопа – с вогнутой решеткой и сканирующими щелями на круге Роуленда (Прокофьев, 1977). Один из вариантов сканера предусматривал дублирование его подвижной части: в случае заедания подшипников или иного отказа, достаточно командой с Земли освободить пирочек решетку для ее разворота вокруг оптической оси на некоторый угол (под действием пружины), в результате – совмещение плоскости дисперсии с новым набором щелей и светоприемников второго сканирующего механизма.

Тот же телескоп “Спика” потребовалось снабдить системой контроля сохранения юстировки. В этом случае изобретением была замена большого плоского зеркала в классической автоколлимационной схеме контроля четырьмя мелкими – несъемными и не заслоняющими рабочую апертуру телескопа (Лагутин, 1991).

Несколько необычное применение оптической системы с управляющим зеркалом позволило построить телескоп для наблюдений Солнца с летящего самолета (Лагутин, 1972).

## 4 Заключение

В подавляющем большинстве случаев частная конструкторская задача может быть решена сразу – но далеко не всегда такое тривиальное, непродуманное решение оказывается удачным; в результате порою появляются нагромождения призм, зеркал, двигателей, соленоидов, направляющих и прочего. Обычно основная работа конструктора – выбор приемлемого варианта из нескольких возможных решений – или поиск нового, лучшего.

Упомянутые выше примеры решения разных технических задач могут оказаться полезными при создании новых оптико-механических приборов и устройств.

## Литература

- Васильев А.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1976. Т. 55. С. 224.  
Лагутин А.Ф. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1995. Т. 89. С. 127.  
Лагутин А.Ф. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1991. Т. 83. С. 267.  
Лагутин А.Ф. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1972. Т. 44. С. 122.  
Прокофьев В.К. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1977. Т. 56. С. 105.  
Проник В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1995. Т. 89. С. 111.