

УДК 520.25

## Сравнительное исследование оптических характеристик объективов астрографов н/п Карл Цейс г. Йена. Проницающая сила

Г. А. Иванов, Э. Рахматов, В. А. Юревич, Р. Я. Инсаридзе,  
И. А. Даутов, А. Г. Крылов

Приведены результаты унифицированных исследований четырехлинзовых объективов широкоугольных астрографов обсерватории им. В. П. Энгельгардта (Зеленчук), ГАО АН УССР (Киев), Астросовета АН СССР (Звенигород), Института астрофизики АН ТаджССР (Душанбе) —  $D=40$  см,  $F=2$  м, поле  $8^\circ \times 8^\circ$ ; Астрономического института АН УзССР (Китаб), Астрофизической обсерватории АН ГССР (Абастумани) —  $D=40$  см;  $F=3$  м, поле  $5^\circ \times 5^\circ$ . Исследование проводилось методом диаграмм пронизывания. Большинство объективов собирает 70—90 % света в кружке диаметром 2". Уравнение блеска незначительно.

*A COMPARATIVE STUDYING THE OPTICAL CHARACTERISTICS OF ASTROGRAPHS' OBJECTIVES (CARL ZEISS, JENA). LIMITING MAGNITUDE, by Ivanov G. A., Rakhmatov E., Yurevich V. A., Inasaridze R. Ya., Dautov I. A., Krylov A. G.*— Results of the unified studying the four-lense objectives of wide-angle astrograph ( $D \neq 40$  cm,  $F=2$  m and  $F=3$  m) are given. The scattered diagram method is used for this study. 70-90 % of light is collected by the most of objectives in the circle with 2" diameter. The magnitude equation is insignificant.

В рамках выполнения программы фотографического обзора Северного неба (ФОН) [4] предполагалось проведение унифицированных исследований оптики широкоугольных астрографов, принимающих участие в этой работе. Исследования включают: определение оптических характеристик объективов, сравнение качества изображений на пластинках астрографов, а также исследование уравнения блеска (УБ) — одной из наиболее опасных систематических ошибок в фотографической астрометрии, влияющей на положения звезд на пластинке.

**Исследование оптических характеристик объективов.** В данной работе приведены результаты исследования некоторых оптических характеристик объективов широкоугольных астрографов Н/П Карл Цейс г. Йена (таблица). В качестве метода применялось построение так называемых диаграмм пронизывания [2, 6]. Этот метод позволяет про-

Данные исследования объективов широкоугольных астрографов

Обсерватория	Камера	D, см	F, м	Температура, °С	Продольная сферическая aberrация, мм	Техническая постоянная, Т	Критерий качества, К	Уравнение блеска, мкм		Концентрация света, % в кружке диаметром		
								X	Y	1"	2"	3"
Абастумани	I	40	3	+1	0.71	0.50	3.65	3.3	2.4	32	70	84
	II	40	3	+1	1.22	0.50	3.47	7.9	4.2	30	73	84
Китаб	I	40	3	+2	1.14	0.49	3.20	1.0	3.4	16	66	91
	II	40	3	+1	0.66	0.47	4.49	3.9	3.3	16	41	70
Душанбе*	I	40	2	+25	0.27	0.26	3.58	1.0	1.9	42	85	99
Зеленчук* (АОЭ)	I	40	2	+9	0.40	0.42	3.39	3.4	1.4	46	84	94
Звенигород* (Астросовет)	I	40	2	+4	0.53	0.54	4.47	4.0	3.0	36	75	88
ГАО АН УССР	I*	40	2	+5	0.28	0.28	2.57	1.8	0.7	61	100	100
	II	40	2	+4	0.21	0.24	3.07	1.2	1.0	36	96	100

\*—значения, полученные в результате обработки двух близких по времени фотографирования пластинок.

следить путь каждого пучка лучей света, прошедшего через центры отверстий диафрагмы до пересечения с фокальной плоскостью объектива и выбрать диаграмму с максимальной концентрацией светового потока в кружке наименьшего диаметра. Ранее [1, 2] указывалось на зависимость оптических характеристик объективов от температуры во время экспозиции и зенитного расстояния. Достоверность результатов также зависит от количества и расположения отверстий на диафрагме, т. е. от степени охвата исследуемой поверхности объектива. Учитывая это, были даны рекомендации с целью некоторой унификации условий наблюдений. В частности, они касались схемы расположения отверстий на диафрагме, их диаметра и количества. Кроме того, указывалось на проведение фотографирования без применения светофильтров вблизи зенита при температуре около  $5^{\circ}\text{C}$  с отклонениями в ту или другую сторону до  $3^{\circ}$ . Эти условия были более или менее выполнены почти всеми участниками работы. Применение интерференционных светофильтров [2] приводит к значительному улучшению качества изобра-

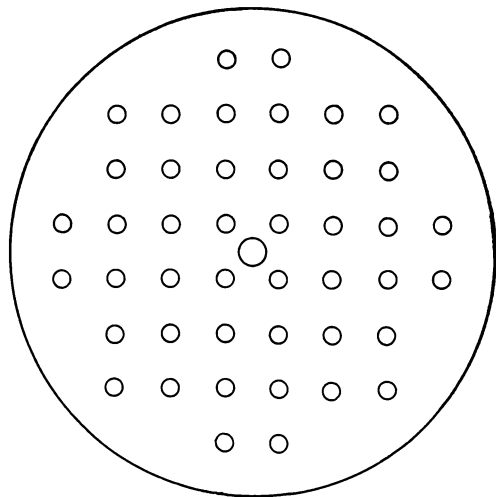


Рис. 1. Схема расположения отверстий на диафрагме

жений отверстий диафрагмы даже в краевых зонах, что позволяет повысить точность метода. Однако не все обсерватории имели необходимые светофильтры и поэтому исследование было решено проводить без них.

Диафрагма представляла собой дюралюминиевый диск с 44 отверстиями диаметром 7 мм, равномерно расположенными по ее поверхности (рис. 1). Центральное отверстие большого диаметра служило для проверки центрировки диафрагмы относительно главной оптической оси системы. Измерение положений изображений отверстий диафрагмы проводилось на координатно-измерительных машинах «Аскорекод». Обработка материала выполнялась по программе, составленной в ГАО АН УССР для ЭВМ ЕС-1022 (Яценко А. И., Иванов Г. А.), которая позволяла определить продольную сферическую aberrацию объектива, техническую постоянную (Т), «благоприятный» фокус, абсолютные значения УБ, концентрацию света, даваемого объективом, критерий качества (К) и вычертить диаграмму пронизывания в «благоприятном» фокусе.

Положение «благоприятного» фокуса, т. е. положение, при котором в соответствующей плоскости в кружке наименьшего диаметра концентрируется световой поток, прошедший через объектив, определялось из

$$\text{условия } \sum_{i=1}^n \frac{(X_i^2 + Y_i^2)}{n} \rightarrow \min, \text{ где } X_i, Y_i \text{ — трансформированные координаты на плоскость, находящуюся на расстоянии } h \text{ от зафокальной}$$

плоскости снимка,  $n$  — количество отверстий на диафрагме ( $n=44$ ). Программа составлена таким образом, что она позволяла выбрать из ряда диаграмм, соответствующих сдвигам в ту или другую сторону от заранее рассчитанного фокуса по методу Гартмана (величина, близкая к  $h$ ), диаграмму с концентрацией светового потока в кружке наименьшего диаметра и вывести рисунок диаграммы на печать.

Иногда плоскость наилучшей фокусировки выбирают в области наиболее плотного расположения пучков лучей света, прошедших через отверстия диафрагмы, т. е. подсчет производят не по всем отверстиям диафрагмы. Пользуясь таким критерием выбора положения фокуса, можем несколько завязать оценку проникающей силы инструмента. Однако неучет лучей света, пришедших от тех зон объектива, где наиболее сильно проявляются погрешности центрировки и изготовления оптических поверхностей, может привести к увеличению УБ. Можно предположить, что образование скрытых центров фотографических изображений на пластинке для слабой звезды происходит только в участке с максимальной плотностью лучей света, прошедших через объектив, а в случае яркой звезды — от всех прошедших лучей. Тогда центр тяжести участка с максимальной плотностью лучей является геометрическим центром изображения слабой звезды, а координаты центра тяжести, определенные по крайним лучам, — геометрическим центром изображения яркой звезды [3]. Расстояние между центрами ( $\Delta$ ) может служить мерой УБ, т. е. смещения центра изображения яркой звезды относительно слабой. Однако такая оценка, по существу, является только признаком существования УБ. Конкретно оценить, например, смещение звезд  $7.0^m$  относительно  $13.0^m$  мы не можем. К тому же полученное УБ характеризует только влияние, вызванное инструментальными факторами (абберации объектива, децентрировка и др.). Несмотря на это, метод диаграмм пронизывания оказывается полезным, так как позволяет более целенаправленно исследовать влияние УБ.

Изменение фокусировки на 0.2 мм при фокусном расстоянии 5.5 мм приводит к изменению величины  $\Delta$  на 3—4 мкм [3]. Следовательно, при выборе плоскости наилучшей фокусировки необходимо принимать во внимание возможные изменения величины  $\Delta$ .

В силу ряда причин, таких как нарушение центрировки диафрагмы относительно оптической оси системы, центрировки линз объектива и др., начало отсчета координат в фокальной плоскости при построении диаграмм пронизывания может не совпадать с центром тяжести, введенным для области с максимальной плотностью лучей, прошедших через отверстия диафрагмы. При подсчете нового нуля-пункта системы не учитывались координаты 12 наиболее удаленных точек пересечения лучей с фокальной плоскостью. Как правило, это лучи, прошедшие через краевые зоны объектива. Определение величины  $\Delta$  проводилось в новой системе отсчета.

Критерий качества объектива  $K$  [2] подсчитывался как отношение радиуса кружка, в который попадает 84 % света, падающего на исследуемый объектив, к радиусу кружка для идеального объектива. Применяя шкалу величин  $K$ , аналогичную шкале  $T$ , для разделения объективов на отличные, хорошие и удовлетворительные, можно считать, что изменение  $K$  от 1 до 3.5 говорит об отличном качестве объектива, свыше 3.5 — о хорошем.

Диаграммы пронизывания для положения наилучшего фокуса приведены на рис. 2. Диаметр центрального круга  $1''$ , каждый последующий увеличивается на  $1''$  (рис. 2). Фотографический материал получен на зенитных расстояниях  $0^\circ$ — $27^\circ$  на пластинках ORWO-ZU-21. При выполнении исследований мы старались, по возможности, получить весь материал в примерно одинаковых условиях, однако неблагоприятные погодные условия при съемке могут повлиять на степень концентрации света в изображении звезды (см. значения в табл. 1). Так, например, при наличии дымки степень концентрации света снижается.

Из табл. 1 видно, что значения сферической абберации лежат в пределах 0.2—1.2 мм, технической постоянной ( $T$ ) 0.25—0.55, что свидетельствует об отличном качестве изготовления оптики инструментов. Если оценивать качество исходя из значений критерия  $K$ , то объектив астрографа в Звенигороде и второй объектив (II-ая камера) астрографа

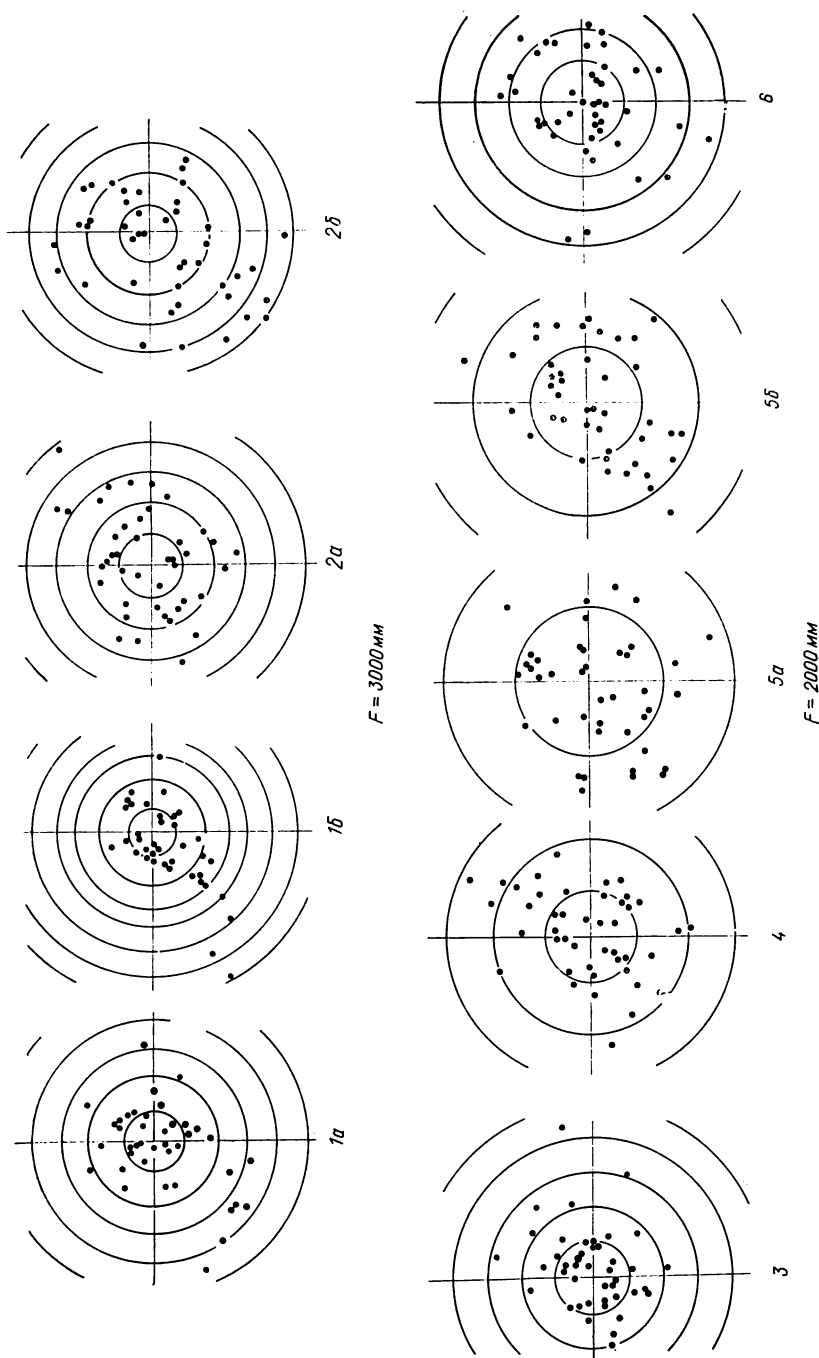


Рис. 2. Диаграммы пронизывания объективов широкоугольных астрографов: 1а — Абастумани (I-ая камера); 1б — Абастумани (II-ая камера); 2а — Китаб (I-ая камера); 2б — Китаб (II-ая камера); 3 — Казань (Зеленчук); 4 — Душанбе; 5а — Киев (Голосеево, I-ая камера); 5б — Киев (Голосеево, II-ая камера); 6 — Москва (Звенигород)

в Книге хорошего качества. Это также видно из сравнения значений концентрации света объективами с фокусным расстоянием 2 и 3 м. Значения УБ для большинства объективов астрографа не превышают 4 мкм. Несколько больше — около 8 мкм (координата X) — значения для II-й камеры объектива астрографа в Абастумани потребует проведения более тщательного исследования этой ошибки. В описании двойного широкоугольного астрографа  $D=40$  см,  $F=2$  м Н/П Карл Цейс г. Йена, присланном в ГАО АН УССР (г. Киев), указано, что все световые пучки сходятся внутри кружка диаметром 20 мкм ( $2''$ ). Это хорошо согласуется с результатами наших исследований.

**Выбор камеры для снимков ФОН в ГАО АН УССР.** Первоначально фотографирование площадок проводилось на обеих камерах, но учитывая двойной расход фотоматериалов, значительное увеличение общего времени проявления и объема измерений, было решено получать снимки на одной камере. К тому же при таком фотографировании тратится дополнительное время на перезарядку кассеты, что снижает эффективность наблюдений, т. е. приводит к уменьшению количества снимаемых площадок за ночь. Однако возникает вопрос, как быть с «ложными» звездами и другими дефектами эмульсии, которые хорошо обнаруживаются при сличении двух снимков одной и той же области. В случае нашей программы четырехкратное перекрытие каждой площадки позволит выявить и устранить «ложные» изображения звезд.

Камеру выбирали следующим образом. Вначале визуально рассмотрели изображения звезд на ряде пластинок, полученных одновременно на обеих камерах. Оказалось, что искажение формы изображения звезды при удалении от геометрического центра пластинки раньше наступает на снимках II-й камеры; изображения звезд разной звездной величины менее четкие, ореол вокруг ярких звезд несколько больше и проникающая сила несколько меньше по сравнению с I-й камерой. I-й камерой считали ту, которая при горизонтальном положении инструмента слева от колонны и направления на юг, расположена внизу, т. е. под II-й камерой. Затем на краю зоны радиусом  $2^\circ$  выбрали несколько звезд и промеряли в двух взаимно перпендикулярных направлениях диаметры ядра и ореола. Эллиптичность, диаметр ядра и ореола оказались несколько большими на пластинках, полученных на II-й камере. Все эти факторы и большая концентрация света объективом I-й камеры (табл. 1) предопределили выбор ее в качестве основной для фотографирования площадок по программе фотографического обзора неба.

**Проницающая сила.** По снимкам стандартной области  $\alpha_{1981} = 12^h 21.8^m$ ,  $\delta_{1981} = +27^\circ 26'$ , присланном в ГАО АН УССР участниками программы, проведено определение проницающей силы астрографов, список которых приведен в работе [4]. Все пластинки получены с экспозицией 20 мин. На астронегативах визуально были отобраны видимые на пределе звезды и по имеющимся величинам [5] проведены оценки  $m_{\max}$ . Ниже представлены результаты исследований:

Абастумани	16.1		Звенигород (Астросовет)	17.0
Китаб	15.5		Душанбе	17.0
Киев (ГАО АН УССР)	16.0		Москва (ГАИШ)	16.1
Зеленчук (АОЭ)	17.3		Николаев	15.4

Подсчет ожидаемого  $m_{\max}$  не проводился, поскольку одни формулы требуют знания яркости ночного неба (данных не имелось), другие же, например  $m_{\max} = -1 + 5 \lg D + 2,15 \lg t$ , дают явно заниженные результаты.

Нельзя утверждать, что эти значения действительно отражают предельную звездную величину, достижимую при фотографировании с камерой данного размера. Различные условия фотографирования, засветка от фона неба и качество фотоматериалов («свежесть») будут вно-

сильные искажения в определяемые величины. К тому же все результаты получены по обработке одной пластинки на каждом инструменте. Так, значения  $m_{\max}$  в Абастумани и Китабе явно занижены, что скорее всего объясняется условиями фотографирования и применением «старых» фотоматериалов. Хорошие условия для наблюдений в Зеленчуке (АОЭ).

В заключение отметим, что среди исследованных объективов с фокусным расстоянием 2 м лучшим является объектив астрографа ГАО АН УССР (I-ая камера), среди объективов с фокусным расстоянием 3 м — Абастуманский (I-ая камера). Уравнение блеска для объективов большинства астрографов незначительно.

1. Асланов И. А., Мамедов Я. А. Исследование главного зеркала двухметрового телескопа ШАО АН Азербайджанской ССР.— Изв. АН АзССР, серия физ.-техн. наук, 1969, № 4, с. 89—98.
2. Иванов Г. А. Сравнительное исследование фотографического и фотовизуального объективов астрографа ГАО АН УССР.— Астрометрия и астрофизика, 1974, вып. 21, с. 21—29.
3. Иванов Г. А. Использование диаграмм пронизывания для оценки величины уравнения блеска.— Астроном. циркуляр, 1979, № 1037, с. 4—7.
4. Колчинский И. Г., Онегина А. Б. План фотографирования неба на широкоугольных астрографах.— Астрометрия и астрофизика, 1977, вып. 33, с. 11—16.
5. Argue A. N. Photographic photometry with the Cambridge Schmidt telescope. II. Photoelectric UBV calibration in the Coma region.— Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 1963, 127, No 1, p. 97—104.
6. Fehlmann G. Astro-Optikprüfung-ein Anwendungsgebiet des Coordinometers.— Jenaer Rdsch., 1962, No 3, S. 116—120.

Главная астрономическая обсерватория АН УССР  
Астрономический институт АН УзССР  
Астросовет АН СССР

Поступила в редакцию  
16.07.1984

Астрофизическая обсерватория АН ГССР  
Институт астрофизики АН ТаджССР

Астрономическая обсерватория им. В. П. Энгельгардта

## РЕФЕРАТ ПРЕПРИНТА

УДК 524.82

Рубашевский А. А.

### ЗАКОНЫ ПОТЕМНЕНИЯ К КРАЮ В ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

(Препринт ИПМ АН УССР, № 20, 1984)

По табличным значениям распределений относительной интенсивности излучения по дискам звезд, полученным рядом авторов из моделей атмосфер для длин волн монохроматического излучения, впервые рассчитаны дискретные значения  $I(\mu_i) / I(1)$  в фотометрических системах, близких к *UBVR11* и *uobv* для широкого интервала эффективных температур, 50000 К—4000 К, и других параметров звездных моделей.

Из законов потемнения к краю в фотометрических системах были определены линейные коэффициенты потемнения. Они оказались близкими, в пределах  $\pm 0.002$ , к соответствующим значениям, полученным из графических зависимостей коэффициентов потемнения от длины волны, численно проинтегрированных по кривым реакции названных фотометрических систем.

Совпадение результирующих значений коэффициентов потемнения, полученных разными методами, означает, что предложенная методика определения законов потемнения к краю в фотометрических системах позволяет получать надежные результаты.

Законы потемнения к краю в указанных фотометрических системах и соответствующие им коэффициенты потемнения приведены в таблицах для пяти внутренне однородных серий звездных моделей. В фотометрической системе *K* удалось получить только коэффициенты потемнения по опубликованным монохроматическим значениям.