

УДК 520.16

Сравнение диаметров изображений звезд на широкоугольных астрографах

И. Г. Колчинский, Л. К. Пакуляк

В работе приведены зависимости диаметров фотографических изображений звезд от звездной величины (диапазон 6.7—14.4, система V) для пластинок шести широкоугольных астрографов, установленных в СССР и изготовленных Н/П Карл Цейс г. Йена, а также астрографов АФР-1 (ЛОМО, установлен в Москве), зонного (Цейс, установлен в Николаеве). Значения отношения диаметров при $F=3$ и 2 м заключены в пределах 1.26—1.38, что существенно меньше отношения фокусных расстояний. Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что существенный вклад в увеличение размеров изображений вносит не только дрожание изображений, но и другие факторы, не связанные с угловыми флуктуациями.

COMPARISON OF THE STELLAR IMAGE DIAMETER FOR WIDE-ANGLE ASTROGRAPHS, by Kolchinskij I. G., Pakulyak L. K.—The dependence of stellar image diameters on the stellar magnitude are given for the plates obtained with various wide-angle astrographs installed in the USSR. The diameter ratios for $F=3$ m and 2 m are within 1.26—1.38, i. e. are smaller than focal distance ratios. This may indicate that the essential contribution in the increase of image diameters is made not only by the stellar image tremor but by ether factors not connected with the angular fluctuations.

Введение. Постановка задачи. Почернение изображения звезды на фотопластинке астрографа и его диаметр зависят от общего количества света, собираемого объективом в фокальной точке, и закона его распределения в некоторой достаточно малой области. Форма изображения определяется изменением закона распределения освещенности изображения в зависимости от направления на плоскости пластинки. При этом весьма существенную роль играют аберрации объектива и условия гидирования.

Поскольку при объективе данного диаметра почернение изображения зависит от блеска звезды, в астрометрии это обстоятельство широко используется для определения блеска путем сравнения с почернением некоторых других звезд, блеск которых считается известным (стандартным). Сравнительно реже для целей звездной фотометрии используются определения диаметров их изображений. Это связано с некоторой неопределенностью понятия «диаметр изображения звезды», так как край его нерезкий и почернение здесь постепенно переходит в общую вуаль (фон) пластинки.

Однако для определения диаметров звезд используется более простая процедура, чем для определения почернений. Действительно, в первом случае обычно применяют наведение на края изображения «креста» координатно-измерительной машины, в то время как во втором случае фотографическая плотность изображения определяется на микрофотометре, после чего пользуются специальными методами калибровки пластинки. Простота «метода диаметров» приводит к тому, что его выгодно применять в тех случаях, когда нужно определить блеск большого числа звезд, согласившись при этом на некоторую потерю точности. Такая необходимость возникает при составлении фотографических обзоров неба, где главной целью является определение координат, а блеск звезд (звездная величина) нужен только для уверенного отождествления звезды. «Метод диаметров», например, широко использовался в работах по составлению «Карты неба» [5]. Представляется также

целесообразным применить его в современных работах по фотографическим обзорам неба, в частности в работах по четырехкратному перекрытию северного неба, начатых по инициативе ГАО АН УССР [4]. В этих работах участвуют астрографы Н/П Карл Цейс г. Йена с $D=40$ см и $F=2$ и 3 м. В связи с этим нам казалось интересным сравнить между собой диаметры изображений на разных астрографах, конечно, с учетом того, что снимки одних и тех же областей неба будут получены по возможности в одинаковых условиях (фотографический материал, зенитное расстояние, экспозиция и т. д.).

При определении точных положений звезд на астрографах существенную роль играет уравнение блеска, т. е. влияние блеска звезды на ее положение, зависящее не только от формы и распределения освещенности в изображении, но и от диаметра. По-видимому, эта ошибка возрастает при увеличении диаметра изображения звезды, так что более выгодным для уменьшения этой ошибки использовать инструменты с меньшим диаметром изображений, тем более, что при этом также увеличивается и проникающая сила.

Инструменты и условия получения пластинок. Исследование размеров изображений проводилось на широкоугольных астрографах, сведения о которых представлены в табл. 1.

Первые шесть астрографов имеют сходные четырехлинзовые объективы типа Зоннефельда (фотографические) и различаются только фокусными расстояниями.

Астрограф Николаевской обсерватории принадлежит к типу «зонных», созданных для перенаблюдения зон каталога AG.

Для того, чтобы все пластинки получались примерно в одинаковых условиях, была составлена инструкция, разосланная наблюдателям. В соответствии с этим снимки получались при зенитном расстоянии не более 40° на пластинках ORWO-ZU-21 и проявлялись 4 мин в проявителе D-19. В инструкции указывалось, что снимки должны получаться при хорошей прозрачности, оцениваемой визуально по видимости звезд.

Выбор стандартных звезд и измерение их диаметров. Для сравнения диаметров изображений звезд была рекомендована площадка с центром $\alpha_{1950.0} = 12^h 21^m$, $\delta_{1950.0} = +26^\circ$ в созвездии Волосы Вероники. В ней были выбраны 32 звезды в диапазоне величин $6.7^m - 14.4^m$ в системе V. Стандартные величины этих звезд, полученные путем фотоэлектрической калибровки, опубликованы в [6]. Почти все звезды сосредоточены в зоне с радиусом 3° относительно центра. При измерении диаметра изображение звезды ставилось по отношению к «кресту» измерительного прибора сначала в положение А, а затем в положение В (рис. 1). Как известно, изображение звезды представляется измерителю в виде равномерно зачерненного диска с диффузным ореолом, ширина которого мала по сравнению с размерами диска. Это подтверждается фотометрическими разрезами изображений звезд, в которых диск звезды соответствует «плато», а ореол — сравнительно резкому спаду почернения до

Таблица 1. Данные широкоугольных астрографов

Номер п/п	Обсерватория	F, м	D, см	Число объектов	Тип объектива	Изготовитель	Формат пластинок, см
1	Абастумани	3.0	40	2	Зоннефельд	Н/П Цейс г. Йена	30×30
2	Китаб	3.0	40	1	»	»	30×30
3	Голосеево	2.0	40	2	»	»	30×30
4	Казань*	2.0	40	1	»	»	30×30
5	Звенигород	2.0	40	1	»	»	30×30
6	Душанбе	2.0	40	1	»	»	30×30
7	Москва	2.3	23	1	Росс	ЛОМО, Ленинград	24×24
8	Николаев	2.1	12	1	»	Н/П Цейс г. Йена	20×20

* установлен в САО АН СССР.

перехода в фон пластинки. Благодаря этому наведение на край изображения в общем производится довольно уверенно. Средняя квадратичная ошибка σ одного измерения диаметра (7—8 величин) составляет около 3 мкм, что меньше в сравнении со значениями диаметра даже для сравнительно слабых звезд. Мы ограничились измерениями диаметров только по одной координате (y), так как для нашей цели нам

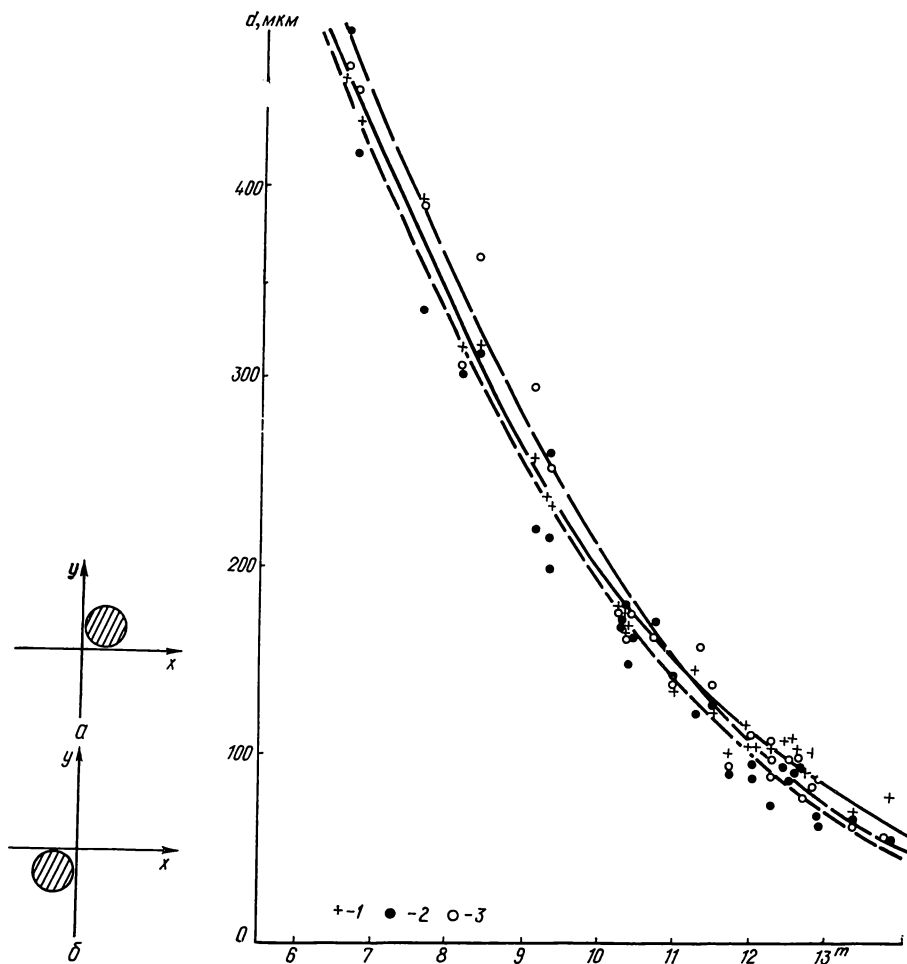


Рис. 1. Схема наведений перекрестия координатно-измерительной машины для определения диаметра изображения звезды (a и b положения перекрестия относительно изображения)

Рис. 2. Зависимость диаметра изображения d от звездной величины V . $F=3$ м, $D=40$ см, экспозиция — 20 мин. (1 — Китаб, 2 — Абастумани-1, 3 — Абастумани-2)

не нужны были очень точные значения диаметров (как при фотометрии), и малыми их различиями в направлениях x и y можно было пренебречь.

Результаты измерений и их обсуждение. Зависимость диаметра изображения d от звездной величины для обоих абастуманских и китабского объективов показана на рис. 2. Наибольшие диаметры у звезд 7^m несколько превышают 400 мкм, наименьшие у звезд 14^m около 50 мкм. Среднее возрастание диаметра на 1^m составляет ~ 50 мкм. Обращает на себя внимание хорошее согласие данных для однотипных объективов. Сходную картину дают объективы с $F=2$ м (рис. 3), хотя здесь разброс диаметров для отдельных значений звездных величин получился несколько большим. Среднее значение диаметра для

звезд 7^m 350 мкм, а для звезд $14^m \sim 50$ мкм, так что возрастание диаметра на 1^m составляет ~ 43 мкм.

Значения диаметров для m от 7 до 14, снятые со сглаженных графиков, представлены в табл. 2 и 3. Из табл. 2 видно, что во всем диапазоне m диаметры изображений звезд на пластинках астрографа ГАО АН УССР в Голосеево оказываются меньше, чем для других астрогра-

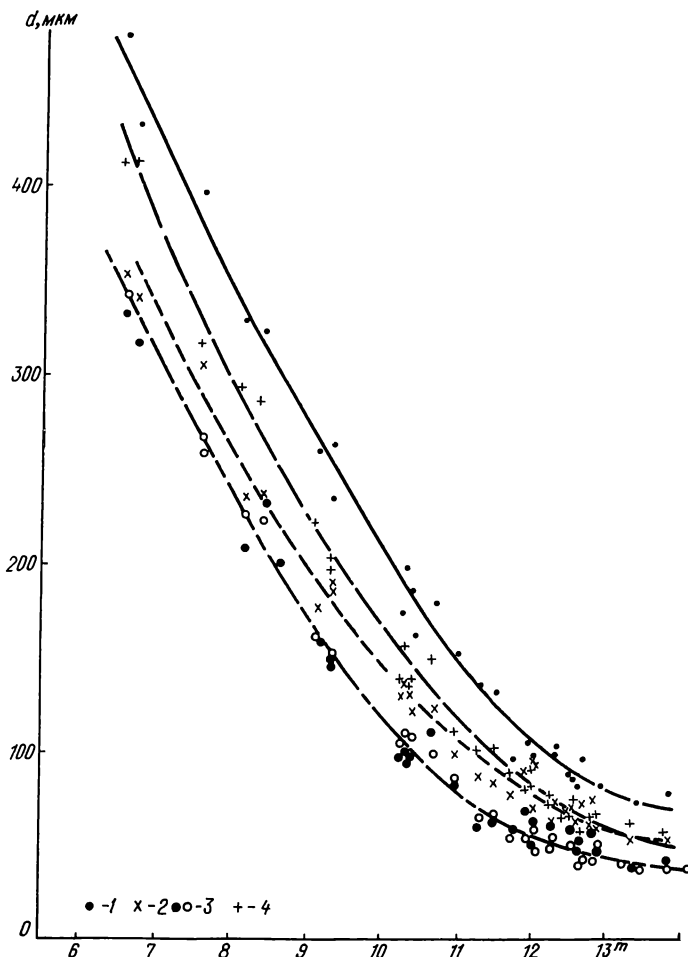


Рис. 3. Зависимость диаметра изображения d от звездной величины V . $F=2$ м, экспозиция — 20 мин. (1 — Казань, 2 — Звенигород, 3 — Голосеево, 4 — Душанбе; для Голосеево обе кривые совпадают)

Таблица 2. Диаметры изображений звезд на широкоугольных астрографах в мкм ($D=40$ см, $F=2$ м, экспозиция 20 мин)

Обсерватории	Звездная величина							
	7^m	8^m	9^m	10^m	11^m	12^m	13^m	14^m
Голосеево объектив 1	305	235	170	110	75	55	47	40
» » 2	310	235	170	118	80	55	45	40
Казань*	420	340	270	200	145	105	80	70
Звенигород	325	250	190	140	105	80	60	50
Душанбе	378	295	224	162	116	80	60	50
Среднее	348	271	205	146	102	75	58	50

* установлен в САО АН СССР.

фов для каждого m . Это обстоятельство косвенно подтверждается также исследованиями качества изображений для разных объективов, проведенными при помощи диафрагмы Гартмана [3].

Таким образом, можно предположить, что меньшие размеры изображений на пластинках ГАО АН УССР объясняются действительно высоким качеством их объективов, а не случайным улучшением метеорологических условий во время экспозиции.

Сравнивая размеры изображений звезд для объективов с $F=2$ и 3 м (табл. 2, 3), видим, что во втором случае размеры изображений больше. Отношения диаметров изменяются в следующих пределах:

Звездная величина	7^m	8^m	9^m	10^m	11^m	12^m	13^m	14^m
Отношение диаметров	1.21	1.24	1.27	1.35	1.44	1.37	1.26	1.06
Среднее значение для всего диапазона звездных величин	~1.27							

Следовательно, рост диаметров не происходит пропорционально увеличению фокусного расстояния. Если бы рост диаметров зависел только от явлений дрожания, то должна была бы наблюдаться пропорциональность фокусному расстоянию, так как дрожание связано с изменением углов прихода световых лучей и соответственно приводит к увеличению размеров изображения на небесной сфере. На пластинке это увеличение должно быть пропорционально F . Так как в нашем случае среднее отношение диаметров существенно меньше 1.5, то можно предположить, что размеры изображения, кроме дрожания,

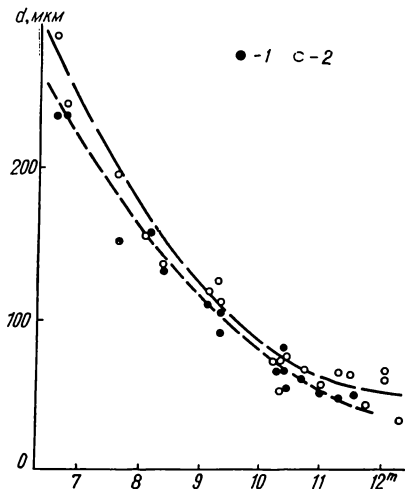


Рис. 4. Зависимость диаметра изображения d от звездной величины V . $F=3$ м, экспозиция — 1 мин. (1 — Абастумани-1, 2 — Абастумани-2)

зависят также от рассеяния в эмульсии, не связанного с F . Действительно, пусть диаметр изображений d определяется формулой $d=aF+\Delta$, где a и Δ постоянные. Тогда отношение диаметров при $F=F_1$ и F_2 ($F_1 > F_2$) будет

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{aF_1 + \Delta}{aF_2 + \Delta} = \frac{F_1}{F_2} \frac{\left(a + \frac{\Delta}{F_2}\right)}{\left(a + \frac{\Delta}{F_2}\right)} < \frac{F_1}{F_2},$$

т. е. отношение диаметров будет меньше отношения фокусных расстояний, как это и получилось по наблюдениям.

Таблица 3. Диаметры изображений звезд на широкоугольных астрографах в мкм ($D=40$ см, $F=3$ м, экспозиция 20 мин)

Обсерватории	Звездная величина							
	7^m	8^m	9^m	10^m	11^m	12^m	13^m	14^m
Голосеево объектив 1	405	320	250	185	140	100	70	50
» » 2	435	350	275	210	150	100	70	50
Китаб	420	335	275	195	150	110	80	60
Среднее	420	335	260	197	147	103	73	53

Данные для диаметров звездных изображений при экспозиции 1 мин, снятые со сглаженных кривых (рис. 4, 5), приведены в табл. 4. Как видно, значение отношения диаметров при $F=3$ и 2 м заключены в пределах 1.26—1.38 для диапазона звездных величин 7—12 со средним значением 1.32. Таким образом, и при сравнительно малых экспозициях, но все еще больших по сравнению с характерными периодами дрожания изображений (~ 1 с), отношение диаметров существенно меньше отношения фокусных расстояний, что косвенно свидетельствует о том, что размеры изображений, кроме дрожаний, в значительной степени зависят еще и от других факторов, не связанных с угловыми

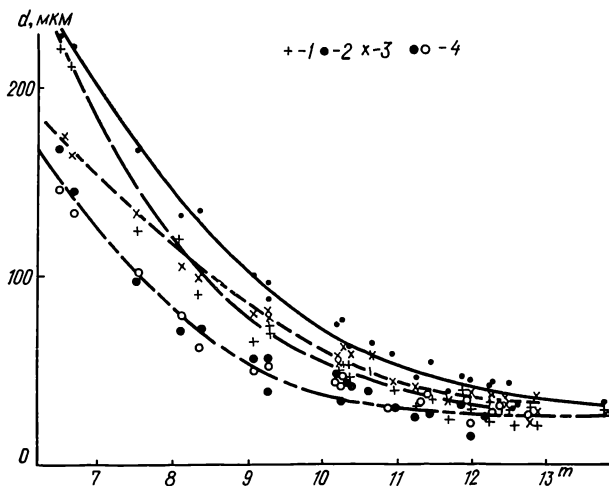


Рис. 5. Зависимость диаметра изображения d от звездной величины V . $F=2$ м, экспозиция — 1 мин. (1 — Душанбе, 2 — Казань, 3 — Звенигород, 4 — Голосеево; для Голосеево обе кривые совпадают)

флуктуациями. На рис. 6, 7 изображена зависимость диаметров изображений от звездной величины для астрографов в Николаевской обсерватории и ГАИШе при экспозициях 20 и 1 мин. Диаметр объектива АФР-1 (ГАИШ) почти в два раза больше диаметра объектива Николаевского астрографа, а фокусные расстояния примерно одинаковы, так что увеличение размеров изображений для первого объектива целиком можно отнести за счет увеличения светового потока.

Таблица 4. Диаметры изображений звезд на широкоугольных астрографах в км ($D=40$ см, экспозиция 1 мин)

Обсерватории	Звездная величина						
	7 ^m	8 ^m	9 ^m	10 ^m	11 ^m	12 ^m	13 ^m
$F=3$ м							
Абастум. объектив 1	214	156	112	78	54	38	—
» » 2	238	170	120	84	62	52	—
Китаб	146	104	78	58	44	35	—
Среднее	199	143	103	73	53	42	—
$F=2$ м							
Голос. объектив 1	126	80	54	38	30	28	26
» » 2	124	84	54	40	32	28	26
Душанбе	185	118	80	56	42	32	28
Звенигород	154	116	84	60	43	36	32
Казань	200	146	102	73	54	40	32
Среднее	158	109	75	53	40	33	29
Отношение $F=3$ м/ $F=2$ м	1.26	1.31	1.37	1.38	1.32	1.27	—

1.32 (среднее значение)

Интересно сравнить полученные нами данные с результатами И. И. Брейдо [2], хотя они получены для других инструментов и пластинок. В указанной работе получилось, что увеличение диаметров изображений звезд при уменьшении звездной величины происходит в общем линейно (см. цит. раб. рис. 3), и только в области более слабых звезд, 10—12 величины, намечается «загиб» прямых линий. Кроме

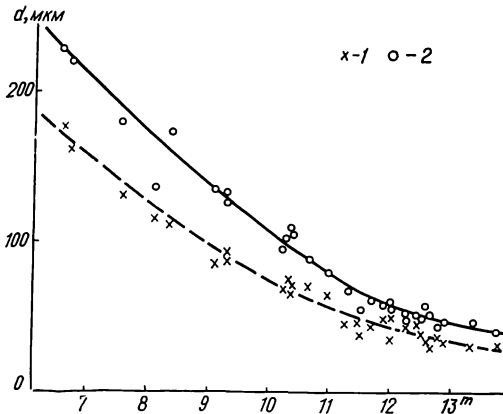


Рис. 6. Зависимость диаметра изображения d от звездной величины V для астрографов в Николаеве и Москве (ГАИШ). Экспозиция — 20 мин. (1 — Николаев, 2 — ГАИШ)

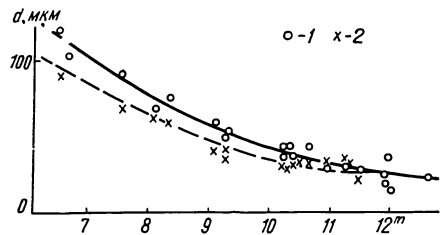


Рис. 7. Зависимость диаметра изображения d от звездной величины V для астрографов в Николаеве и Москве (ГАИШ). Экспозиция — 1 мин. (1 — ГАИШ, 2 — Николаев)

того, высказывается предположение, что не рассеяние света в фотоэмульсии, а aberrации оптики и атмосферная турбулентность вносят наиболее существенный вклад в увеличение диаметра изображений слабых звезд. В работе И. И. Брейдо [1], посвященной исследованию диаметров изображений звезд на БТА, это предположение отнесено уже и к ярким звездам. Результаты нашей работы показывают, что это может быть и не так. Однако этот вопрос будет подробнее рассмотрен в другой статье.

Авторы выражают благодарность сотрудникам обсерваторий, призвавшим в ГАО АН УССР негативы, на основании которых была выполнена данная работа.

1. Брейдо И. И. Оценка роли рассеяния света фотографическим слоем в увеличении диаметра фотографического изображения ярких звезд на негативах 6-метрового телескопа.— Астрон. цирк., 1979, № 1073, с. 24.
2. Брейдо И. И. Разрешающая способность фотоматериалов к точечным изображениям и рост диаметра фотографического изображения точки с увеличением освещенности.— Астрон. журнал, 1971, 48, вып. 2, с. 425—434.
3. Иванов Г. А., Рахматов Е., Юевич В. А. и др. Сравнительное исследование оптических характеристик объективов астрографов Н/П Карл Цейс (Йена) Проницающая сила.— Кинетика и физика небесных тел, 1985, 1, № 2, с. 72—77.
4. Колчинский И. Г., Онегина А. Б. О программе фотографирования неба широкоугольными астрографами.— Астрометрия и астрофизика, 1979, вып. 39, с. 57—63.
5. Мартынов Д. Я. Курс практической астрофизики.— М.: Физматгиз, 1960.— с. 316.
6. Argue A. N. Photographic photometry with the Cambridge Schmidt Telescope. II. Photoelectric UVB calibration in the Coma region.— Kitt. Peak Nation. Observatory, 1963, No 44, p. 97—104.