

УДК 520.48

## Сравнение измерений астронегативов, выполненных на измерительных машинах «Аскорис», ПАРСЕК-Н и ИАН

Г. А. Иванов, А. В. Сергеев, Т. П. Сергеева, И. Е. Целищев

Проведена попарная сравнительная оценка качества измерений звездобразных изображений на измерительных машинах «Аскорис» (ГАО АН УССР), ПАРСЕК-Н (Николаев. отд-ние ГАО АН СССР) и ИАН (Астрономическая обсерватория им. В. П. Энгельгардта). Определена ошибка измерений. Показано существование систематических различий при измерении одних и тех же объектов на разных измерительных машинах.

*COMPARISON OF PLATE MEASUREMENTS PERFORMED ON MEASURING MACHINES «ASCORIS», PARSEC-N AND IAN, by Ivanov G. A., Sergeev A. V., Sergeeva T. P., Tselishchev I. E.— Comparison of measurement quality of star images on «Ascoris» and automatic measuring machines PARSEC-N, IAN is performed. Measurement error is determined. Measuring of the same objects on different machines results in systematic differences.*

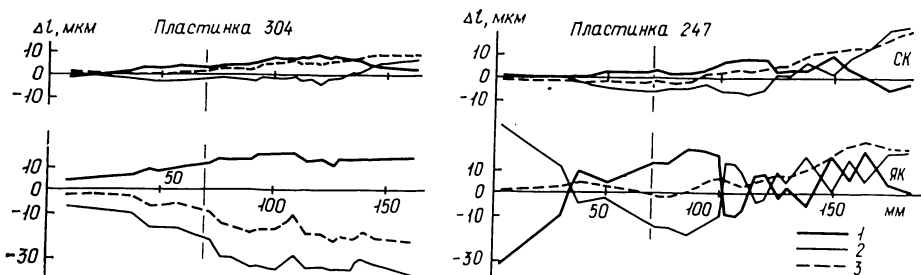
Реализация подпрограммы ФОН [4] потребует измерения большого числа астронегативов. Так, по схеме 4-кратного перекрытия северного полушария общее количество астронегативов (рабочее поле  $4 \times 4^\circ$ ) в зоне от  $-2$  до  $+90^\circ$  по склонению составит около 7000. На первом этапе работы — определение положений и собственных движений 220 000 звезд до  $11.5^m$  — в зависимости от принятой методики обработки необходимо измерить 1—2 млн. изображений звезд. Совершенно очевидно, что измерение всего фотографического материала должно быть проведено с применением автоматических измерительных машин. В последнее время в ряде астрономических учреждений СССР введены в строй автоматические измерительные комплексы.

В настоящей работе приведены некоторые результаты сравнительной оценки качества измерений звездобразных изображений на измерительных машинах ИАН, ПАРСЕК-Н и «Аскорис». Принцип действия и основные алгоритмы обработки изображений на машинах типа ПАРСЕК изложены в [1, 6, 7].

Наряду с ошибками инструментального характера, присущими оптической системе телескопа (уравнение блеска (УБ), кома, дисторсия и другие, которые искажают положение звезды на пластинке), вносит вклад и ошибка измерения. В зависимости от принятого алгоритма поиска центра изображения звезды эта ошибка может проявляться и при ручном и при автоматическом режимах измерений. В автоматических измерительных машинах определяется фотометрический центр тяжести изображения. Человек же наводит на так называемый «психологический центр», который близок к месту наибольшего почернения пятна [3].

Для оценки качества измерений изображений звезд мы использовали метод попарного сравнения положений одних и тех же объектов, определенных на разных измерительных машинах. Рабочим материалом послужили две пластинки широкоугольного астрографа (ША) ГАО АН УССР, полученные по подпрограмме ФОН. Согласно принятой методике на каждой пластинке делали две экспозиции: короткую — 40 с и длинную — 16 мин. На астронегативах отобрано около 60 звезд каталога AGK3R, равномерно распределенных по полю  $8 \times 8^\circ$ . Количество общих измеренных звезд составило 44 и 48 соответственно. При работе на машине ПАРСЕК-Н применен первый вариант математиче-

ского обеспечения, ориентированный на измерения изолированных бездефектных изображений на ровном фоне. Этот вариант — простейшая реализация алгоритма, изложенного в [6]. Несмотря на то что измеряемые изображения на краю поля пластинки значительно отличались от «идеальных», прибор работал устойчиво и наводился на все заданные объекты. Кроме того, при этих измерениях опробована методика многократного считывания координат с последующим их усреднением,



Значения  $\Delta l_i$ , полученные из попарного сравнения измерений изображений звезд на координатомерах: 1 — ИАН — ПАРСЕК-Н; 2 — «Аскорис» — ИАН; 3 — «Аскорис» — ПАРСЕК-Н

что позволило в три раза уменьшить случайную ошибку отсчета шкал, обусловленную большим интервалом квантования интерполятора прибора.

По данным измерений пластинок вычислены радиусы-векторы  $l_i$  — расстояния от принятого нуля-пункта отсчета до соответствующих изображений звезд. Затем проведены попарные сравнения величины  $l_i$  отдельно для изображений с короткой (слабый компонент — СК) и длинной (яркий компонент — ЯК) экспозициями для различных комбинаций измерительных машин. За нуль-пункт системы принимали центр тяжести координат десяти изображений звезд СК, равномерно распределенных в зоне диаметром  $4^\circ$ . В этом участке изображения звезд еще сохраняли круглую форму. Выбор СК для определения нуля-пункта системы продиктован следующим соображением: ошибка измерения в случайном и систематическом отношениях для СК всегда меньше аналогичной ошибки для ЯК. Результаты попарного сравнения  $\Delta l_i$  представлены на рисунке. Близкие значения  $l_i$  для соответствующих изображений звезд на пластинке усреднялись. При вычерчивании кривых использовали метод сглаживания по трем точкам.

По графикам (рисунок) видно, что различия в значениях  $\Delta l_i$  изображений СК для разных комбинаций измерительных машин минимальны в пределах поля  $4 \times 4^\circ$ , затем начинают увеличиваться. Результаты обработки изображений ЯК на пластинке 304 показывают явное увеличение значений  $\Delta l_i$  с удалением от центра пластинки; на пластинке 247 явно выраженного наклона не наблюдается. Отметим, что на пластинке 247 качество изображений хуже, чем на пластинке 304. Кривые, полученные по результатам попарной обработки («Аскорис» — ИАН и ИАН — ПАРСЕК), очень изломаны. По-видимому, это объясняется ошибками в работе анализатора изображения ИАН, где формируется информация об изображении звезды (значения измеренных координат и эффективных диаметров). Оценка диаметров изображений, проведенная на трех машинах, также показала рассогласование в значениях измерений ЯК на ИАН по сравнению со значениями, полученными на машинах ПАРСЕК и «Аскорис».

В настоящее время в Астрономической обсерватории им. В. П. Энгельгардта ведутся работы по усовершенствованию анализатора изображения. Поскольку машины ИАН и ПАРСЕК наводятся на фотометрический центр тяжести изображения, то следует ожидать, что

систематическая разность  $\Delta l_i$  (ИАН — ПАРСЕК) должна обладать большей устойчивостью, чем две другие (рисунок). Изменение формы изображений звезд к краю пластинки приводит к увеличению относительного смещения в оценке «психологического» и фотометрического центров изображений, что иллюстрируют графики.

#### Коэффициенты уравнения блеска, комы, дисторсии

Измерительная машина	Номер пластинки, координата	Коэффициент						Дисперсия $\sigma$ , мкм	
		уравнения блеска (в 0.1 мкм)		комы (в 0.001 мкм)		дисторсии (в $10^{-9}$ мм $^{-2}$ )			
		СК	ЯК	СК	ЯК	СК	ЯК	СК	ЯК
ПАРСЕК-Н —«Аско- рис»	247 X	—	—	$-4 \pm 2$	$-4 \pm 1$	$-4 \pm 1$	$+4 \pm 2$	4.8	6.0
	Y	—	—	$-2 \pm 1$	—	—	—	2.9	5.0
	304 X	—	$+9 \pm 2$	—	$-19 \pm 3$	—	—	2.7	4.4
	Y	—	—	—	$-6 \pm 4$	—	—	2.4	4.5
ПАРСЕК-Н —ИАН	247 X	—	$14 \pm 5$	—	—	$+6 \pm 2$	$+12 \pm 4$	4.7	23.3
	Y	—	—	—	—	—	—	6.4	5.3
	304 X	$-2 \pm 1$	—	$+3 \pm 1$	$-4 \pm 2$	—	—	2.4	3.6
	Y	—	—	—	$-5 \pm 3$	—	—	2.4	2.2
ИАН — «Аскорис»	247 X	—	$-15 \pm 5$	—	—	$-8 \pm 2$	$-12 \pm 6$	6.4	23.4
	Y	—	—	—	—	—	—	5.9	7.1
	304 X	—	$+7 \pm 3$	$-4 \pm 1$	$-19 \pm 3$	—	—	3.2	5.3
	Y	—	—	—	$-8 \pm 4$	—	—	3.1	5.1

Рисунок дает представление только о наличии систематических ошибок в измерениях изображений звезд. Какова же природа этих ошибок? Для установления вида зависимости между разностями координат  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  изображений звезд при попарно сравниваемых измерениях мы использовали метод, разработанный в ГАО АН УССР [5], в котором  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  представлены в виде ортогонального полинома третьей степени относительно измеренных координат и первой степени — относительно диаметров изображений  $d$ :

$$\Delta X = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^1 a_{ijk} \Phi_{ijk} + \xi; \quad \Delta Y = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \sum_{k=0}^1 a'_{ijk} \Phi_{ijk} + \xi', \quad (1)$$

где  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  — векторы разностей измеренных координат;  $a_{ijk}$ ,  $a'_{ijk}$  — постоянные пластинки;  $\xi$ ,  $\xi'$  — векторы невязок;  $\Phi$  — вектор произведения  $x^i y^j d^k$ . В уравнениях связи (1) УБ представляли членом  $qd$  ( $d$  — диаметр изображения звезды);  $kxd$  и  $k'yd$  — кома ( $x$ ,  $y$  — расстояние звезды от центра тяжести системы). Поскольку каждая измерительная машина давала свою систему диаметров изображений, то для всех случаев попарно сравниваемых измерений в качестве диаметров использовали отсчеты ирисового фотометра «Аскорис». Обработка велась раздельно по каждой пластинке для слабого (80—340 мкм) и яркого (200—750 мкм) компонентов. В таблице приведены значимые величины коэффициентов УБ, комы и дисторсии.

Основной вклад в значения коэффициентов УБ и комы вносят ошибки измерений изображений звезд, расположенных в зоне радиусом  $2^\circ$  и более, т. е. в зоне, где явно начинает искажаться форма изображения звезды. Из таблицы видно, что в основном систематические различия проявляются при измерении яркого компонента. УБ и кома влияют на измерения, выполненные на машинах ИАН и «Аскорис», что, вероятно, связано с ошибками в работе анализатора изображения ИАН на разных по качеству пластинках, визуального наведения на «Аскорис». Во всех вариантах обработки измерений имеется «фиктивная

дисторсия», т. е. каждая измерительная машина вносит свои искажения при определении истинного значения дисторсии ША. Аналогичный результат получен в [2].

По известным выражениям, описывающим свойства дисперсий коррелированных случайных величин, в первом приближении можно записать

$$\sigma_{\text{ПАРСЕК}-\langle\text{Аскорис}\rangle}^2 \approx \sigma_{\text{ПАРСЕК}}^2 + \sigma_{\langle\text{Аскорис}\rangle}^2;$$

$$\sigma_{\text{ПАРСЕК}-\text{ИАН}}^2 \approx \sigma_{\text{ПАРСЕК}}^2 + \sigma_{\text{ИАН}}^2;$$

$$\sigma_{\text{ИАН}-\langle\text{Аскорис}\rangle}^2 \approx \sigma_{\text{ИАН}}^2 + \sigma_{\langle\text{Аскорис}\rangle}^2.$$

Отсюда значения ошибок измерений  $\sigma$  для каждой измерительной машины составили (в мкм):

	$\sigma_{\langle\text{Аскорис}\rangle}$	$\sigma_{\text{ПАРСЕК}}$	$\sigma_{\text{ИАН}} (247)$	$\sigma_{\text{ИАН}} (304)$
СК	$\pm 2.6$	$\pm 1.6$	$\pm 5.1$	$\pm 2.2$
ЯК	4.4	2.0	14.1	2.9

Видно, что ошибка измерения СК меньше аналогичной ошибки для ЯК; значения  $\sigma_{\text{ИАН}}$  различны при измерении изображений звезд на разных по качеству пластинках.

Измерение большого числа астронегативов потребует разработки оптимальных методик измерений и редукации. Как правило, для ослабления личной ошибки выполняют измерения одного изображения на приборах типа «Аскорекорд» при четырех положениях реверсионной призмы. Необходимо ли и при работе на автоматической измерительной машине четыре раза наводить на звезду или достаточно одного наведения? Для ответа на этот вопрос дважды измерили пластинку 737 подпрограммы ФОН (московский широкоугольный стандарт, точность положений  $+0.06''$  [8]) на ПАРСЕК-Н. По методике, описанной выше, решили систему уравнений вида (1), только в левой части записали векторы разностей измеренных и идеальных координат ( $\xi, \eta$ ). Ошибка решения системы для каждого прогона составила в (мкм):

	1-й прогон	2-й прогон
X	$\pm 2.8$	$\pm 2.6$
Y	3.6	3.2

В результате решения системы (1) получены невязки для каждой из 59 звезд, измеренных на пластинке. Средняя квадратичная ошибка разности невязок двух прогонов составила:  $\pm 1.1$  мкм по координате X,  $\pm 2.0$  мкм — по координате Y.

Очевидно, что в нашем случае в качестве исходного материала для последующей обработки можно в равной степени использовать измерения, полученные как среднее по двум прогонам, или любого из них. Замечено также, что максимальные значения разностей невязок (4 мкм) для отдельных звезд не соответствовали максимальным значениям разностей измеренных координат (5—6 мкм) между прогонами для тех же звезд. Другими словами, в процессе уравнивания некоторые эффекты измерения изображений звезд могут «замываться».

В заключение отметим, что обработка материалов измерений двух астронегативов ША на трех измерительных машинах показала: 1) наименьшая ошибка измерения  $\sigma$  получена на автоматической измерительной машине ПАРСЕК-Н; 2) исследование инструментальных погрешностей телескопа (в нашем случае ША) при измерении фотографического материала на разных координатомерах может привести к разнобою в значениях определяемых величин.

Работа по выбору оптимальной методики измерений будет продолжена.

1. Аюпов Ф. Р., Сергеев А. В., Сергеева Т. П., Шорников О. Е. Управление процессом измерений в приборе ИФО-461 посредством микро-ЭВМ // Новая техника в астрономии.— Л.: Наука, 1984.— С. 104—107.
2. Иванов Г. А., Курьянова А. Н., Яценко А. И. Определение коэффициентов дисторсии, комы и уравнения блеска телескопа ДША ( $D=40$  см,  $F=2$  м) ГАО АН УССР // Кинематика и физика небес. тел.— 1987.—3, № 2.— С. 82—88.
3. Колчинский И. Г. О возможных исследованиях влияния астроклимата на точность фотографических положений звезд на широкоугольных астрографах // Астрометрия и астрофизика.— 1979.— Вып. 39.— С. 66—72.
4. Колчинский И. Г., Онегина А. Б. О программе фотографирования неба широкоугольными астрографами // Там же.— С. 57—62.
5. Курьянова А. Н., Кизюн Л. Н. Опыт использования ортогональных полиномов для установления связи между измеренными и идеальными координатами // Кинематика и физика небес. тел.— 1985.—1, № 2.— С. 9—14.
6. Ризванов Н. Г., Сергеев А. В. Автоматизация измерений астрофотографий // Письма в Астрон. журн.— 1981.—7, № 2.— С. 125—128.
7. Сергеев А. В., Шорников О. Е. ИФО-461 — универсальный прибор для измерения астрофотографий // Новая техника в астрономии.— Л.: Наука, 1984.— С. 86—94.
8. Шокин Ю. А., Евстигнеева Н. М. Широкоугольный астрометрический стандарт в московской зенитной зоне // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга.— 1983.— 55.— С. 3—20.

Глав. астрон. обсерватория АН УССР, Киев,  
Астрон. обсерватория им. В. П. Энгельгардта,  
Казань

Поступила в редакцию 19.07.87,  
после доработки 24.09.87

## Научные конференции

### СИМПОЗИУМ МАС № 137 «ВСПЫХИВАЮЩИЕ ЗВЕЗДЫ В ЗВЕЗДНЫХ СКОПЛЕНИЯХ, АССОЦИАЦИЯХ И ОКРЕСТНОСТЯХ СОЛНЦА»

Состоится 22—26 мая 1989 г. в Бюраканской астрофизической обсерватории АН АрмССР. Научная программа: звезды типа UV Кита в окрестностях Солнца; вспышкающие звезды в скоплениях и ассоциациях; физическая природа и эволюция вспышкающих звезд.

### СИМПОЗИУМ МАС № 139 «ГАЛАКТИЧЕСКОЕ И ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОЕ ФОНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ — ОПТИЧЕСКАЯ, УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ И ИНФРАКРАСНАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ»

Состоится 12—16 июня 1989 г. в Гейдельберге (ФРГ). Научная программа: галактический фон; внегалактический фон; наблюдения во всем диапазоне электромагнитных волн.