

ИССЛЕДОВАНИЕ ГНУТИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО КРУГА ВАНШАФФА С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОКОЛЛИМАЦИИ

С. П. Майор, Н. В. Назарова, А. С. Харин, Я. С. Яцкив

(ГАО АН УССР, г. Киев)

В 1966 г. в ГАО АН УССР предложен и теоретически обоснован для случая отсутствия температурных деформаций новый способ определения гнущия [1, 2]. В настоящей работе приводятся результаты практического применения этого способа на вертикальном круге Ваншаффа в Голосеево.

Исследования по применению нового метода определения гнущия проводились в 1966—1968 гг. Основное внимание при этом уделялось выяснению недостатков и улучшению конструкции вспомогательных приборов.

В результате частых конструктивных изменений полученный в 1966—1967 гг. материал оказался не вполне однородным, что затрудняет его дальнейший анализ. Сравнительно более удачны в этом отношении данные, полученные летом и осенью 1968 г. при участии трех наблюдателей — А. С. Харина, С. П. Майора и Я. С. Яцкива. К тому же в этот период часто производились одновременные определения как по новому методу, так и по методу горизонтальных коллиматоров. Поэтому полученный материал наблюдений представляется вполне подходящим для иллюстрации возможностей и недостатков нового метода определения гнущия.

1. Вспомогательная аппаратура и некоторые ее исследования

Основная часть аппаратуры, использующейся в новом методе, изготовлена в механической мастерской ГАО АН УССР по чертежам конструктора Н. В. Назаровой.

Главные детали конструкции: коллиматорная трубка, жестко крепящаяся с помощью специального кронштейна в кубе трубы, плоское зеркало, жестко крепящееся перед объективом на его оправе, и автоколлимационный окуляр.

Коллиматорная трубка (рис. 1) состоит из двух раздвигающихся колен, в одном из которых крепится объектив ($f=200$, $\varnothing=30$), а в другом — стеклянная пластина с нанесенной на нее сеткой и система подсветки, включающая матовое стекло и лампочку. Второе колено может перемещаться относительно первого, давая возможность устанавливать сетку так, чтобы объектив строил ее изображение в плоскости сетки нитей окулярного микрометра. На рис. 1 показан окончательный вариант конструкции кронштейна и способ его крепления в кубе трубы. В первых вариантах из-за несимметрии конструкции кронштейна возникало гнущие трубы, порядка 2"—3", которое в окончательном варианте было исправлено.

На рис. 2 представлена конструкция автоколлимационного окуляра. Для выноса фокального изображения в нем применена оборачивающая система, состоящая из двух объективов и разделительного устройства призмы — куба. Как выяснилось в результате дальнейших исследований, эта конструкция оказалась не вполне удачной. Из-за сравнительно больших размеров окуляра возникал поворот подвижной пластины, на которой крепится окуляр, что, в свою очередь, приводило к смещению автоколлимационного изображения.

Специальная проверка показала, что возникающей при этом ошибкой автоколлимационного отсчета можно пренебречь. Тем не менее

этот недостаток приводил к затруднениям при регулировке автоколлимационного изображения. После испытания нескольких имевшихся в нашем распоряжении зеркал в окончательном варианте используется

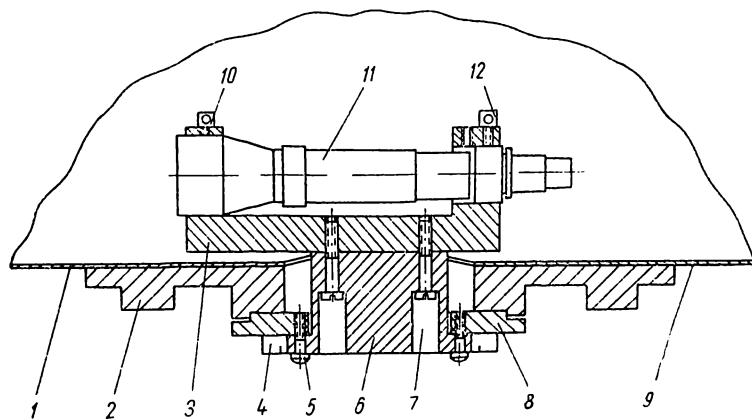


Рис. 1. Крепление трубы в кубе:

1 — окулярная половина трубы вертикального круга; 2 — куб; 3 — кронштейн; 4 — винт (6 шт.); 5 — винт (6 шт.); 6 — втулка; 7 — винт (4 шт.); 8 — диск; 9 — объективная половина трубы; 10, 12 — стопорные винты; 11 — трубка.

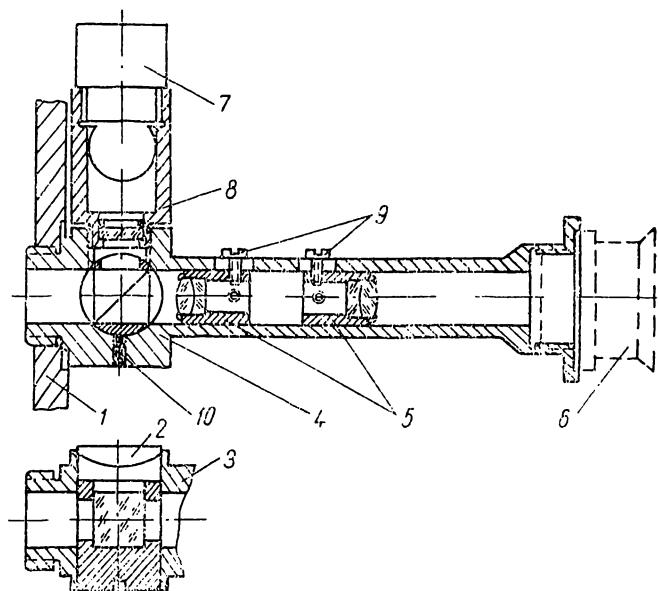


Рис. 2. Конструкция автоколлимационного окуляра:

1 — торец коробки микрометра; 2 — пробка; 3 — призма-куб в оправе; 4 — труба; 5 — линзы в оправах; 6 — окуляр; 7 — патрон с лампочкой; 8 — втулка; 9 — винты регулировочные; 10 — стопор.

плоское круглое зеркало ($\varnothing=40$, $d=7$) со сферичностью менее 0.25 полосы, изготовленное по нашему заказу в оптической мастерской Пулковской обсерватории. Это зеркало позволяет получить достаточно хорошее автоколлимационное изображение капроновых нитей толщиной 20—30 мкм.

На рис. 3 приведена конструкция окончательного варианта приспособления, использующегося для крепления автоколлимационного зеркала перед объективом трубы. Она довольно проста и состоит из пло-

ского дюралевого диска (толщина 8 мм), диаметр которого равен диаметру оправы объектива ($D=225$). С помощью трех болтов этот диск крепится на оправе перед объективом, причем регулировка его наклона осуществляется с помощью соответствующих прокладок. В диске сделано два отверстия ($\varnothing=44$), одно из которых — боковое — служит для крепления оправы с зеркалом, а другое — центральное — для наведения на горизонтальный коллиматор. Для увеличения жесткости диска на каждой его стороне есть по две уголковые пластины — ребра

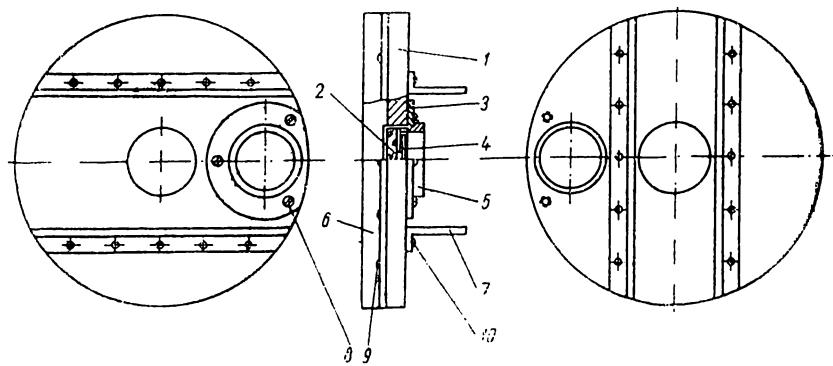


Рис. 3. Конструкция № 6 крепления зеркала ($D=40$):
1 — диск; 2 — зеркало; 3 — оправа; 4 — пружина; 5 — резьбовое кольцо; 6, 7 — ребра жесткости; 8 — винт (3 шт.); 9, 10 — заклепки (20 шт.).

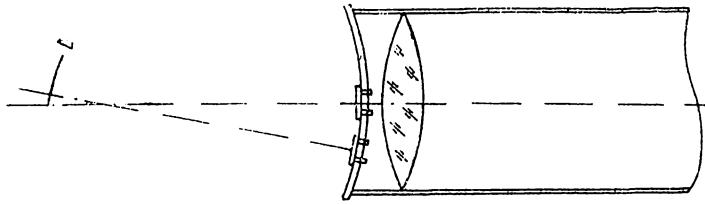


Рис. 4. Поворот зеркала из-за деформации диска при вертикальном положении трубы.

жесткости. Было установлено, что в случае нецентрального крепления зеркала, из-за весового прогиба дюралевого диска, возникает поворот зеркала (рис. 4). Наличие ребер жесткости уменьшает прогиб диска, уменьшая тем самым и поворот зеркала. В дальнейшем эта конструкция обозначена № 6 (перед этим испытано пять других конструкций крепления автоколлимационного зеркала). Мы решили здесь также привести некоторые результаты испытаний всех шести конструкций крепления автоколлимационного зеркала. По нашему мнению, они имеют непосредственное отношение к вопросу конструирования высокоточных измерительных приборов и наглядно показывают преимущества симметричных конструкций.

Основные требования, предъявляемые нами к конструкции крепления автоколлимационного зеркала, следующие: возможность одновременного отсчета автоколлимации горизонтальных коллиматоров, удобство крепления и регулировки наклона, минимальный поворот зеркала при вертикальном положении трубы. Средние значения углов поворота зеркала при вертикальном положении трубы для шести испытанных конструкций таковы:

Оправа	1	2	3	4	5	6
Угол поворота	$0''.11$	$2''.27$	$-0''.06$	$-1''.09$	$-0''.46$	$-0''.17$

Рассмотрим более подробно каждую из них. На рис. 5 показана

конструкция № 1, которая использовалась для крепления полуупрозрачного зеркала ($\varnothing=100$, $d=6$). Из-за большой сферичности, менявшей фокус примерно на 10 мм, от применения этого зеркала пришлось отказаться. Здесь также неудачными оказались способ крепления с помощью треугольников и регулировка наклона с помощью шести винтов.

Конструкция № 2, показанная на рис. 6 и использовавшаяся для крепления зеркала прямоугольной формы ($100\times20\times30$), асимметрична. Это стало причиной больших поворотов зеркала.

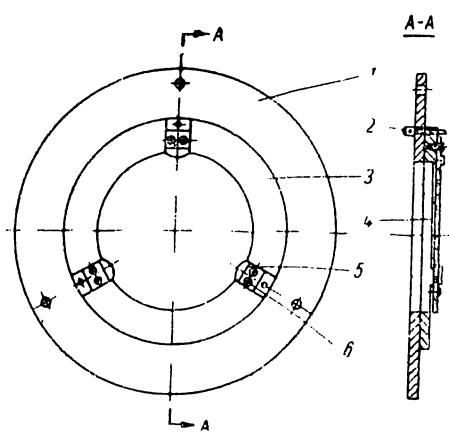


Рис. 5. Конструкция № 1 крепления зеркала ($D=100$):

1 — диск; 2 — винт (3 шт.); 3 — кольцо;
4 — зеркало; 5 — угольник (3 шт.); 6 — винты (6 шт.).

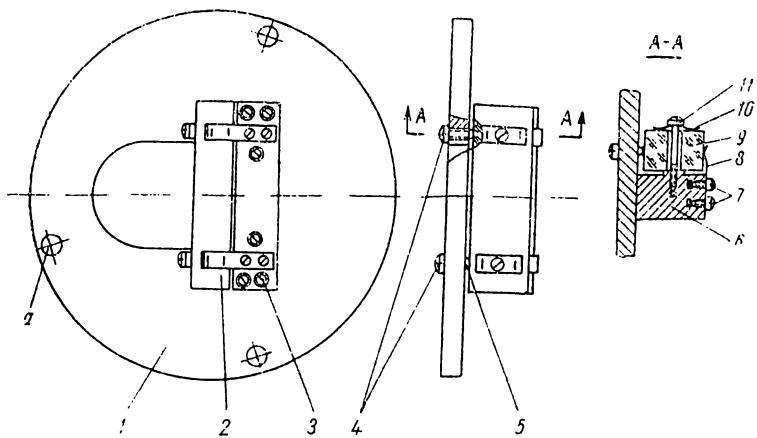


Рис. 6. Конструкция № 2 крепления зеркала ($100\times20\times30$):

1 — диск; 2 — зеркало; 3 — винт (6 шт.); 4 — винт (2 шт.); 5 — прокладка;
6 — бруск; 7 — винт (4 шт.); 8 — пружина (2 шт.); 9 — прокладка;
10 — пружина (2 шт.); 11 — винт (2 шт.); а — отверстия для крепления
диска на торце оправы объектива (3 шт.).

На рис. 7, а представлена конструкция № 3 для центрального крепления того же зеркала, что и в конструкции № 6. Оправа этого зеркала имеет резьбовое и пружинное кольца, которые оказались удобными для регулировки прижима зеркала. Из-за центрального крепления поворота зеркала в этой конструкции практически не возникает. В то же время такое крепление не позволяет производить одновременные отсчеты горизонтальных коллиматоров. Для определения гнущия по методу Бесселя приходилось снимать оправу с зеркалом, а вместо нее ставить металлическое кольцо равного веса.

Этого недостатка лишена конструкция № 4 (см. рис. 7, б), которая отличается от предыдущей только тем, что здесь зеркало крепится сбоку, а центральное отверстие такого же диаметра используется для наведения на горизонтальные коллиматоры. Здесь, как и в случае конструкции № 2, возникают значительные повороты зеркала.

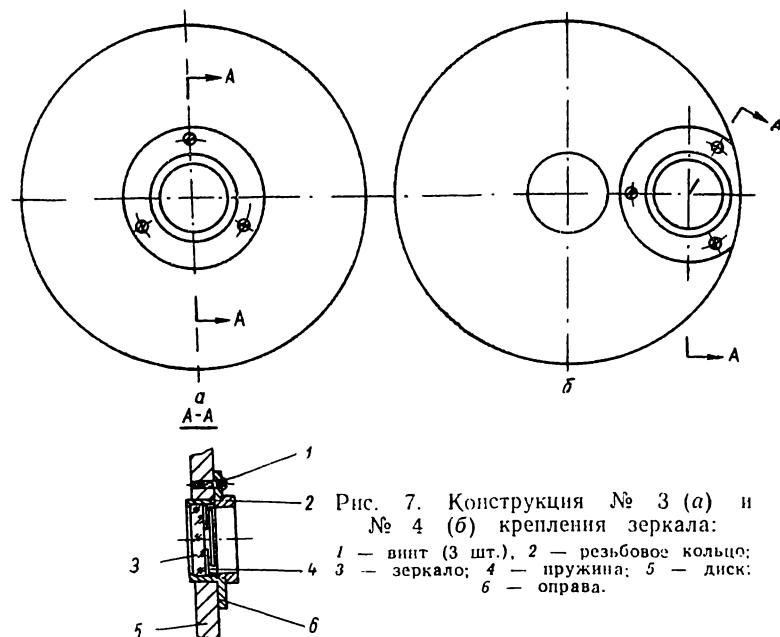


Рис. 7. Конструкция № 3 (а) и № 4 (б) крепления зеркала:

1 — винт (3 шт.); 2 — резьбовое кольцо; 3 — зеркало; 4 — пружина; 5 — диск; 6 — оправа.

В конструкции № 5 для увеличения жесткости вместо дюралевого диска используется стальной. Угол поворота зеркала уменьшился вдвое, оставаясь все же довольно большим, порядка 0".5. В шестой конструкции жесткость дюралевого диска увеличена с помощью ребер жесткости, что привело к несколько меньшим, чем в конструкции № 5, поворотам зеркала.

Отметим, что применение симметричной методики определения гибания, которое предусматривает установку трубы в вертикальное положение вращением в прямом и обратном направлении, позволяет исключить поворот зеркала. Таким образом, в принципе можно применять любую из описанных конструкций. Тем не менее, по нашему мнению, последняя из них наиболее удачная.

2. Основные формулы

При определении гибания трубы по новому методу предлагается определять угол прогиба окулярной части трубы относительно линии симметрии идеальной недеформируемой трубы и одновременно с этим угол между визирной осью и нормалью к зеркалу, жестко крепящемуся перед объективом.

Пусть α и β — измеряемые из центра куба углы прогиба окулярного и объективного концов трубы соответственно, γ — удвоенный угол между визирной осью и нормалью к зеркалу. Тогда, согласно [2], имеет место следующее соотношение:

$$\gamma = \alpha + k_0 \beta. \quad (1)$$

При этом k_0 зависит только от геометрических, весовых характеристик трубы и не зависит от ее положения по зенитному расстоянию.

Для определения α и β сделаем при каждой установке трубы на некоторое зенитное расстояние по два измерения: M_i — отсчет положения трубы и A_i — отсчет положения автоколлимационного изображения в поле зрения трубы. Отсчеты M_1, M_2 положения трубы, выполненные при двух положениях трубы, позволяют найти изменение угла прогиба окулярного конца трубы, соответствующее изменению зенитного расстояния трубы, из выражения

$$\alpha_2 - \alpha_1 = (M_2 - M_1) 2R, \quad (2)$$

где $2R$ — цена оборота винта окулярного микрометра, отнесенная к половине фокусного расстояния.

Если теперь при тех же самых положениях трубы сделать еще отсчеты автоколлимации A_1, A_2 , то соответствующее изменение угла автоколлимации найдется из аналогичного выражения

$$\frac{1}{2} (\gamma_2 - \gamma_1) = (A_2 - A_1) R. \quad (3)$$

Таким образом, если сделать отсчеты трубы и автоколлимации при двух горизонтальных положениях трубы, различающихся на 180° : $z_1 = +90^\circ$ (труба на север) и $z_2 = -90^\circ$ (труба на юг), то формула (2) позволит найти величину горизонтального прогиба окулярного конца трубы

$$\alpha = (M_{90} - M_{-90}) R, \quad (4)$$

а формула (3) — удвоенную величину угла между визирной осью и нормалью к зеркалу

$$\gamma = (A_{90} - A_{-90}) R. \quad (5)$$

3. Определение горизонтального гнущия

Для определения коэффициента k_0 уравнения (1) производились измерения горизонтального гнущия b с помощью горизонтальных коллиматоров. При этом во время наведения трубы на западный и восточный коллиматоры одновременно с отсчетами этих коллиматоров производились отсчеты трубы M_{90}, M_{-90} и автоколлимации A_{90}, A_{-90} . После этого, определив по формулам (4) и (5) величины α, γ , а также получив из наблюдений с помощью горизонтальных коллиматоров величину b , отнесенную к тому же моменту времени, величину k_0 найдем по формуле

$$k_0 = \frac{\gamma - \alpha}{2b + a}. \quad (6)$$

При известном k_0 каждая пара значений α и γ позволяет определить величину прогиба объективного конца по формуле

$$\beta = \frac{\gamma - \alpha}{k_0}, \quad (7)$$

а затем по значениям α и β находится и величина коэффициента горизонтального гнущия

$$b = \frac{\beta - \alpha}{2}. \quad (8)$$

В табл. 1 приведены значения k_0 , полученные на основании совместных определений величин α, γ и b , проводившихся с 16.VII по 30.X 1968 г. С этой целью использовались оправа № 4 (16—31.VII)

и № 6 (23.IX—30.X), с помощью которых можно было одновременно с отсчетами M_i и A_i производить отсчеты горизонтальных коллиматоров. Средние для каждой из этих групп оказались соответственно

$$k_1 = 1.937, \quad k_2 = 1.994.$$

На определение величин α и γ очень влияют температурные деформации. Поэтому из всех вечеров, приведенных в табл. 1, выбраны затем только вечера с незначительными температурными градиентами (при

Таблица 1

№ ряда	Дата	k_0	№ ряда	Дата	k_0
1	16.VII	1.9526	14	24.IX	2.0010
2	16.VII	2.0211	15	26.IX	2.0534
3	17.VII	1.8374	16	1.X	2.0740
4	17.VII	1.8435	17	2.X	2.0020
5	19.VII	2.0157	18	2.X	2.0359
6	24.VII	1.9504	19	23.X	2.0178
7	24.VII	1.9088	20	23.X	1.9832
8	31.VII	1.9675	21	27.X	1.9964
9	31.VII	1.9346	22	27.X	1.9411
10	23.IX	1.9825	23	29.X	1.8668
11	23.IX	1.9258	24	29.X	2.0043
12	24.IX	1.9478	25	30.X	1.9848
13	24.IX	1.9934	26	30.X	1.9389

закрытой крыше павильона в вечернее время и в пасмурную погоду). Таких вечеров оказалось 7, а определений — 8. Средние значения, найденные по 5 определениям для первой группы и по 3 для второй, оказались следующими:

$$K'_0 = 1.964 \pm 14, \quad k''_0 = 1.994 \pm 4.$$

Первое из этих значений использовалось затем для вычисления коэффициента горизонтального гнущия со 2.VII по 31.VII, а второе — с 23.IX по 6.XI.

Таблица 2

№ ряда	Дата	Время	Наблюдатель	Направление вращения	α	β	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	α
1	2.VII 1968	15 ^h 43 ^m	AX	ЮС	27".39	28".23	+0".42			
2	2.VII	15 53	AX	СЮ	27 .26	27 .68	0 .21			
			AX	ЮС	27 .71	28 .94	0 .12	1".73	0".88	-0".42
			СЮ	27 .11	28 .13	0 .51	0 .80	1 .84	+0 .54	
3	2.VII	21 20	AX	ЮС	27 .49	28 .03	0 .27	1 .53	0 .64	-0 .44
			СЮ	27 .41	27 .82	0 .20	0 .30	1 .90	+0 .81	
4	2.VII	21 54	AX	СЮ	27 .34	27 .82	0 .24	-0 .08	1 .88	+0 .98
			ЮС	27 .30	27 .76	0 .23	1 .85	0 .28	-0 .78	
5	2.VII	21 42	AX	ЮС	27 .37	27 .75	0 .38	1 .56	0 .98	-0 .29
			СЮ	26 .82	27 .73	0 .91	0 .66	1 .52	-0 .43	
6	2.VII	22 19	AX	СЮ	27 .23	27 .35	0 .12	0 .45	1 .72	+0 .64
			ЮС	27 .38	27 .53	0 .15	1 .32	1 .00	-0 .16	
7	2.VII	23 56	AX	СЮ	27 .05	28 .54	1 .49	0 .10	0 .60	+0 .25
			ЮС	27 .23	28 .64	1 .41	1 .50	2 .35	+0 .42	
8	2.VII	0 27	AX	ЮС	27 .61	28 .32	0 .71	1 .04	2 .58	+0 .77
			СЮ	26 .93	28 .70	1 .77	0 .71	0 .09	-0 .31	
9	10.VII	24 11	AX	ЮС	27 .04	27 .50	0 .23	1 .14	0 .96	-0 .09
			СЮ	27 .20	27 .56	0 .18	-0 .11	1 .42	+0 .76	

№ ряда	Дата	Время	Наблюдатель	Направление вращения	α	β	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	α
10	10.VII	23 ^h 42 ^m	СМ	ЮС	26 ^o .64	27 ^o .64	0 ^o .50	1 ^o .05	0 ^o .70	-0 ^o .18
11	11.VII	20 46	АХ	СЮ	26 .83	27 .50	0 .34	0 .09	1 .73	+0 .82
				СЮ	27 .12	27 .40	0 .14	0 .11	1 .83	+0 .86
				ЮС	27 .24	27 .76	+0 .26	1 .91	1 .06	-0 .42
12	11.VII	21 36	АХ	ЮС	28 .60	27 .58	-0 .51	0 .34	1 .27	+0 .46
				СЮ	26 .68	26 .96	+0 .14	-0 .29	1 .20	+0 .74
13	11.VII	21 52	ЯЯ	СЮ	26 .29	28 .23	0 .97	0 .39	0 .45	0 .03
				ЮС	26 .20	27 .49	0 .64	0 .31	0 .59	0 .14
14	11.VII	22 10	АХ	ЮС	27 .17	27 .36	0 .10	1 .30	0 .62	-0 .34
				СЮ	26 .79	27 .16	0 .18	-0 .38	1 .29	+0 .84
15	11.VII	22 26	ЯЯ	ЮС	26 .22	27 .39	0 .58	0 .37	0 .72	0 .18
				СЮ	26 .14	27 .65	0 .76	0 .10	1 .27	0 .58
16	15.VII	23 52	АХ	СЮ	27 .02	27 .18	+0 .08	-0 .09	1 .62	0 .86
				ЮС	27 .31	27 .09	-0 .11	2 .21	0 .86	-0 .66
17	15.VII	0 04	ЯЯ	СЮ	26 .40	27 .55	+0 .58	0 .61	1 .41	+0 .40
				ЮС	26 .46	27 .57	0 .56	0 .69	1 .30	0 .30
18	15.VII	0 41	АХ	СЮ	26 .90	27 .67	0 .38	-0 .13	1 .60	0 .86
				ЮС	26 .89	27 .74	0 .42	1 .53	0 .72	-0 .40
19	16.VII	21 18	АХ	В3	26 .90	27 .61	0 .36			
		21 34	СМ	3В	26 .56	27 .71	0 .58			
20	16.VII	23 02	АХ	3В	26 .86	27 .79	0 .46			
				В3	27 .03	26 .99	-0 .02			
21	16.VII	23 03	СМ	3В	27 .62	27 .59	-0 .01			
				В3	26 .92	27 .42	+0 .25			
22	17.VII	20 12	АХ	ЮС	27 .08	28 .22	0 .57	1 .44	-1 .31	-1 .38
				СЮ	26 .92	27 .82	0 .45	0 .25	+3 .62	+1 .94
23	17.VII	20 31	АХ	СЮ	26 .92	27 .53	0 .30	-0 .23	+3 .84	+1 .80
				ЮС	26 .76	27 .91	0 .58	1 .38	-1 .30	-1 .34
24	17.VII	23 50	АХ	3В	26 .43	26 .80	+0 .18			
				В3	24 .37	23 .79	-0 .29			
25	17.VII	23 53	ЯЯ	3В	25 .27	25 .67	+0 .20			
				В3	22 .91	24 .16	+0 .62			
26	19.VII	10 43	ЯЯ--АХ	3В	26 .72	28 .18	0 .73			
				В3	26 .81	28 .08	0 .64			
27	22.VII	22 49	АХ	СЮ	26 .94	27 .47	0 .26	-0 .17	1 .56	0 .86
				ЮС	26 .92	27 .37	0 .22	+1 .50	0 .76	-0 .37
28	24.VII	22 20	АХ	СЮ	26 .38	27 .66	0 .64	0 .88	1 .97	0 .54
				ЮС	26 .51	27 .71	0 .60	1 .05	-0 .03	-0 .54
29	24.VII	22 40	СМ	СЮ	26 .75	27 .49	0 .37	1 .64	1 .78	0 .07
				ЮС	26 .15	27 .60	0 .72	1 .16	-0 .30	-0 .73
30	24.VII	23 45	АХ	3В	26 .68	27 .78	0 .55			
				В3	26 .75	27 .54	0 .40			
31	24.VII	0 37	СМ	3В	26 .74	27 .88	0 .57			
				В3	26 .76	27 .85	0 .54			
32	29.VII	0 20	АХ	ЮС	26 .82	27 .69	0 .44	0 .88	0 .83	-0 .02
				СЮ	26 .54	27 .76	0 .61	0 .22	1 .20	+0 .49
33	30.VII	10 16	АХ	СЮ	26 .89	28 .13	0 .62	0 .52	1 .87	0 .18
				ЮС	26 .79	28 .35	0 .76	1 .09	0 .95	-0 .07
34	31.VII	20 58	АХ	СЮ	26 .57	27 .51	0 .47	0 .49	2 .23	+0 .87
				ЮС	26 .50	27 .69	0 .60	1 .22	-0 .29	-0 .76
35	31.VII	22 38	СМ--АХ	3В	26 .78	27 .49	0 .36			
				В3	26 .75	27 .29	0 .27			
36	31.VII	23 41	АХ	3В	26 .75	27 .28	0 .26			
				В3	26 .55	27 .43	0 .44			
37	6.IX	21 03	АХ	ЮС	26 .85	30 .83	1 .99			
				СЮ	26 .30	31 .09	2 .40			
				ЮС	26 .14	31 .08	2 .47			
38	6.IX	21 21	АХ	ЮС	26 .60	30 .77	2 .08	2 .32	-0 .05	-1 .18
				СЮ	26 .33	30 .82	2 .24	0 .39	1 .95	+0 .78
39	6.IX	21 37	АХ	СЮ	26 .50	30 .84	2 .17	0 .36	1 .78	+0 .77
				ЮС	26 .25	31 .09	2 .42	0 .67	0 .73	0 .03

№ ряда	Дата	Время	Наблюдатель	Направление вращения	α	β	b	Δu	$\Delta \beta$	a
40	6.IX	22 ^h 37 ^m	AX	СЮ	26°.54	30°.88	2°.17	0°.11	1°.69	0°.79
				ЮС	26°.09	31°.18	2°.54	1°.02	1°.21	0°.10
41	23.IX	17 06	СМ	3В	26°.68	29°.24	1°.28			
				В3	26°.82	28°.50	0°.84			
42	23.IX	17 08	AX	3В	26°.84	28°.77	0°.96			
				В3	26°.98	28°.70	0°.86			
43	24.IX	15 00	AX	3В	26°.73	27°.79	0°.53			
				В3	26°.82	28°.58	0°.88			
44	24.IX	15 02	ЯЯ	3В	27°.57	29°.70	1°.06			
				В3	27°.42	29°.35	0°.96			
45	24.IX	21 38	AX	ЮС	26°.57	27°.76	0°.60	1°.02	0°.73	-0°.14
				СЮ	26°.36	27°.90	0°.82	0°.65	1°.22	+0°.28
46	24.IX	22 26	AX	3В	26°.53	27°.89	0°.68			
				В3	26°.55	27°.94	0°.70			
47	24.IX	23 23	AX	ЮС	26°.74	27°.91	0°.58	2°.00	0°.42	-0°.79
				СЮ	26°.92	27°.81	0°.44	-0°.49	1°.74	+1°.12
48	26.IX	14 44	AX	СЮ	26°.66	27°.87	0°.60	0°.53	1°.12	0°.30
				ЮС	26°.53	28°.02	0°.74	0°.94	0°.85	-0°.04
49	26.IX	15 24	AX	3В	26°.34	28°.05	0°.86			
				В3	26°.63	27°.95	0°.66			
50	26.IX	16 23	AX	ЮС	26°.53	27°.98	0°.72	1°.01	0°.63	-0°.19
				СЮ	26°.48	27°.99	0°.76	0°.73	0°.67	-0°.04
51	1.X	9 50	AX	СЮ	26°.56	27°.82	0°.63	0°.61	1°.19	0°.29
				ЮС	26°.35	27°.75	0°.70	0°.43	0°.91	0°.24
52	1.X	10 40	AX	3В	26°.51	27°.94	0°.72			
				В3	26°.55	27°.89	0°.67			
53	1.X	12 02	AX	ЮС	26°.36	27°.95	0°.80	0°.83	0°.91	0°.04
				СЮ	26°.33	27°.93	0°.80	0°.73	1°.08	0°.18
54	2.X	10 17	AX	ЮС	26°.52	28°.01	0°.74	1°.00	0°.67	-0°.19
				СЮ	26°.55	27°.88	0°.66	0°.92	1°.13	0°.10
55	2.X	10 59	AX	3В	26°.40	27°.98	0°.79			
				В3	26°.60	27°.97	0°.68			
56	2.X	12 18	ЯЯ	3В	26°.39	28°.14	0°.88			
				В3	26°.42	28°.02	0°.80			
57	2.X	13 02	AX	СЮ	26°.21	27°.84	0°.82	0°.74	1°.28	+0°.27
				ЮС	26°.55	27°.92	0°.68	0°.87	0°.62	-0°.12
58	23.X	20 22	СМ	СЮ	24°.96	26°.50	0°.77	1°.02	1°.43	0°.20
				ЮС	25°.82	26°.79	0°.48	-0°.48	-0°.37	0°.06
59	23.X	21 22	СМ—AX	3В	25°.33	26°.98	0°.82			
				В3	25°.15	26°.34	0°.60			
60	23.X	0 04	AX	3В	25°.73	27°.48	0°.88			
				3В	25°.78	27°.53	0°.88			
61	24.X	19 08	AX	ЮС	26°.32	28°.15	0°.92	-0°.05	1°.17	+0°.61
				СЮ	25°.85	28°.25	1°.20	+0°.93	1°.31	+0°.19
62	24.X	21 27	AX	ЮС	26°.39	28°.30	0°.96	+0°.72	0°.69	-0°.02
				СЮ	26°.29	28°.23	0°.97	0°.97	1°.46	+0°.24
63	24.X	21 51	AX	ЮС	26°.20	28°.18	0°.99	0°.31	0°.87	+0°.28
				СЮ	26°.03	28°.25	1°.11	0°.83	1°.61	+0°.39
64	24.X	22 24	AX	ЮС	26°.26	28°.28	1°.01	1°.21	0°.23	-0°.49
				СЮ	26°.47	28°.15	0°.84	1°.19	1°.50	+0°.16
65	27.X	19 59	AX	СЮ	26°.59	27°.88	0°.64	0°.89	1°.49	+0°.30
				ЮС	26°.38	28°.03	0°.82	0°.61	0°.88	+0°.14
66	27.X	20 44	AX	3В	26°.25	28°.14	0°.94			
				3В	26°.20	28°.13	0°.96			
67	27.X	23 08	AX	3В	26°.57	28°.05	0°.74			
				3В	26°.37	27°.99	0°.81			
68	29.X	16 37	AX	3В	26°.96	27°.71	0°.38			
				3В	26°.57	28°.01	0°.72			
69	9.X	19 10	AX	СЮ	26°.43	27°.93	0°.75	1°.01	1°.24	+0°.12
				ЮС	26°.76	27°.81	0°.52	0°.60	0°.52	-0°.04
70	29.X	20 38	ЯЯ	3В	26°.47	28°.37	0°.95			
			АХ	3В	25°.41	27°.31	0°.95			

№ ряда	Дата	Время	Наблюдатель	Направление вращения	α	β	δ	$\Delta\alpha$	$\Delta\beta$	a
71	30.X	19 ^h 02 ^m	ЯЯ	ЮС	26°.70	28°.20	0°.75	0°.95	0°.81	-0°.07
			АХ	СЮ	26 .56	28 .13	0 .78	1 .27	1 .29	+0 .01
72	30.X	19 50	СМ	В3	26 .33	28 .35	1 .01			
			АХ	3В	26 .76	27 .99	0 .62			
73	30.X	22 06	СМ	В3	26 .56	28 .15	0 .86			
			АХ	3В	25 .97	27 .74	0 .88			
74	31.X	21 04	АХ	СЮ	26 .39	27 .95	0 .78	0 .89	1 .48	0 .30
			ЮС	26 .49	27 .98	0 .74	0 .42	0 .71	0 .14	
75	5.XI	19 25	АХ	ЮС	26 .31	28 .09	0 .89	0 .86	0 .68	-0 .09
			СЮ	26 .43	28 .11	0 .84	0 .80	1 .68	0 .44	
76	5.XI	20 39	АХ	ЮС	25 .87	28 .51	1 .32	0 .66	0 .77	0 .06
			СЮ	26 .57	28 .25	0 .84	0 .60	1 .37	0 .38	
77	6.XI	9 39	АХ	СЮ	26 .62	28 .22	0 .80	1 .25	1 .43	0 .09
			ЮС	26 .34	28 .23	0 .94	0 .29	0 .59	0 .15	
78	6.XI	11 31	АХ	СЮ	27 .02	28 .33	0 .66	-0 .28	1 .42	0 .85
			ЮС	26 .33	28 .46	1 .06	+1 .79	0 .84	-0 .48	
79	6.XI	12 29	АХ	ЮС	26 .42	28 .37	0 .98	1 .17	1 .19	0 .01
			СЮ	26 .32	28 .52	1 .10	0 .56	1 .42	0 .43	

Примечание. АХ — А. Харин, СМ — С. Майор, ЯЯ — Я. Яцкин.

Величины α и β и найденные по (8) значения коэффициента b приведены в табл. 2 (исследования проводились в 1968 г.).

4. Эффект остаточной деформации (вертикальное гнущие)

Пусть M_0 — отсчет трубы, сделанный при вертикальном положении трубы, M_{90} и M_{-90} — при двух ее горизонтальных положениях, отличающихся на 180° .

Если бы у трубы, поставленной вертикально, полностью исчезли деформации, то для трех указанных отсчетов, согласно формуле (2), должно выполняться соотношение

$$(M_{90} - M_0)2R = (M_0 - M_{-90})2R = \alpha. \quad (9)$$

Для трех аналогичных отсчетов A_0 , A_{90} , A_{-90} автоколлимационного изображения, полученных для тех же установок трубы, должно точно так же выполняться подобное соотношение:

$$(A_{90} - A_0)R = (A_0 - A_{-90})R = \frac{1}{2}\gamma. \quad (10)$$

Однако измерения, проведенные по такой схеме, показали, что ни отсчеты коллиматорной трубы, ни автоколлимационные отсчеты соотношениям (9) и (10) не удовлетворяют.

Для объяснения полученных результатов следует допустить, что при установке трубы в вертикальное положение ее концы как бы сохраняют часть той деформации, которую они получают под действием сил и моментов при горизонтальном положении трубы. При этом направление изгиба концов трубы после ее установки в вертикальное положение может быть как к северу, так и к югу от вертикальной линии в зависимости от того, в каком направлении вращалась труба при ее установке в это положение. Так, например, если труба установлена первоначально объективом на юг (рис. 8, а) и установка в

зенит производилась вращением с юга, то концы трубы окажутся изогнутыми к югу. Если же в горизонтальном положении труба была направлена объективом на север (рис. 8, б) и установка в зенит производилась вращением с севера, то после установки в зенит ее концы окажутся изогнутыми к северу.

Допустим, что абсолютная величина деформации не зависит от направления вращения, и обозначим через $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$ величины остаточных

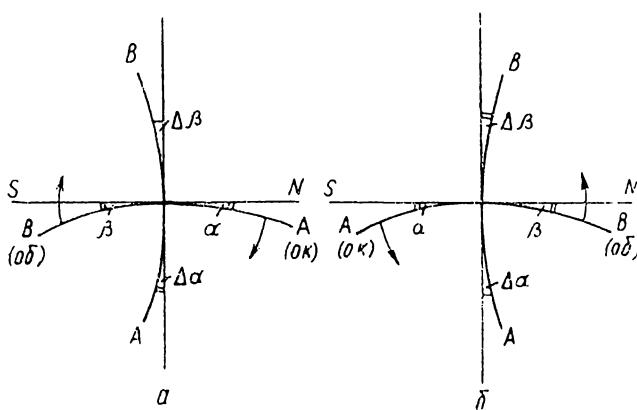


Рис. 8. Направление изгиба концов трубы при ее установке в вертикальное положение:
а — вращением с юга; б — вращением с севера.

ных деформаций соответственно окулярного и объективного концов трубы при ее установке из горизонтального положения в вертикальное и через $\Delta\gamma$ — величину

$$\Delta\gamma = \Delta\alpha + k_0\Delta\beta. \quad (11)$$

Если теперь M_0^N — отсчет положения трубки при установке трубы в вертикальное положение вращением с севера, а M_0^S — аналогичный отсчет при установке вращением с юга, то для трех последовательных установок трубы «Север», «Зенит», «Юг» имеем следующие соотношения.

Прямое вращение:

$$(M_{90} - M_0^N) 2R = \alpha - \Delta\alpha, \quad (M_0^N - M_{-90}) 2R = \alpha + \Delta\alpha. \quad (12)$$

Обратное вращение:

$$(M_0^S - M_{-90}) 2R = \alpha - \Delta\alpha, \quad (M_{90} - M_0^S) 2R = \alpha + \Delta\alpha. \quad (13)$$

Для трех аналогичных отсчетов автоколлимационных изображений при вращении с севера на юг и обратно имеем соответственно:

$$(A_{90}^N - A_0^N) R = \frac{1}{2} (\gamma - \Delta\gamma), \quad (14)$$

$$(A_0^N - A_{-90}) R = \frac{1}{2} (\gamma + \Delta\gamma);$$

$$(A_0^S - A_{-90}) R = \frac{1}{2} (\gamma - \Delta\gamma), \quad (15)$$

$$(A_{90}^S - A_0^S) R = \frac{1}{2} (\gamma + \Delta\gamma).$$

Таким образом, сделав при трех последовательных установках трубы «Север», «Зенит», «Юг» или «Юг», «Зенит», «Север» три пары отсчетов M_i , A_i из уравнений (12), (13) или (14), (15), найдем величины α , $\Delta\alpha$, γ , $\Delta\gamma$, а из (1) и (11) — величины β и $\Delta\beta$. По найденным парам значений α , β и $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$ по формуле (8) определим величины горизонтального

$$b = \frac{\beta - \alpha}{2}$$

и вертикального гнущия

$$a = \frac{\Delta\beta - \Delta\alpha}{2}. \quad (16)$$

При этом знак величины a , как и величин $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$, зависит от направления трубы при ее установке в вертикальное положение.

В табл. 2 приведены найденные таким образом значения $\Delta\alpha$, $\Delta\beta$ и a из наблюдений на вертикальном круге в течение июля—ноября 1968 г. Вычисления значений $\Delta\beta$ были произведены с такими же, как и при вычислениях угла β , значениями коэффициента k_0 .

5. Деформация плоского диска

Рассматривая значения величины a (см. табл. 2), нетрудно заметить, что существует большая разница между определениями, сделанными при прямом — с севера на юг и обратном вращениях. При этом значения разности

$$a_{\text{ю}} - a_{\text{сю}}$$

получаются различными для разных оправ. Это может быть объяснено тем, что при вертикальном положении трубы диск, на котором крепится зеркало, прогибается, в результате чего происходит поворот зеркала на угол Δ (см. рис. 4). При этом в отличие от угла остаточной деформации $\Delta\beta$ знак угла Δ не зависит от того, из какого положения (с севера или с юга) труба установлена в вертикальное положение. Следовательно, в этом случае вместо уравнений (14) и (15) запишем соответственно:

$$(A_{90}^N - A_0^N) R = \frac{1}{2} (\gamma - \Delta\gamma) + \Delta, \quad (17)$$

$$(A_0^N - A_{-90}) R = \frac{1}{2} (\gamma + \Delta\gamma) - \Delta,$$

$$(A_0^S - A_{-90}) R = \frac{1}{2} (\gamma - \Delta\gamma) - \Delta,$$

$$(A_{90} - A_0^S) R = \frac{1}{2} (\gamma + \Delta\gamma) + \Delta. \quad (18)$$

Обозначая теперь через $\Delta\gamma_{\text{сю}}$ и $\Delta\gamma_{\text{ю}}$ разности левых частей уравнений (17) и (18) из соотношений

$$\Delta\gamma - 2\Delta = \Delta\gamma_{\text{сю}}, \quad (19)$$

$$\Delta\gamma + 2\Delta = \Delta\gamma_{\text{ю}},$$

находим

$$\Delta = \frac{1}{4} (\Delta\gamma_{\text{ю}} - \Delta\gamma_{\text{сю}}), \quad (20)$$

$$\Delta\gamma = \frac{1}{2} (\Delta\gamma_{\text{ю}} + \Delta\gamma_{\text{сю}}).$$

Уравнения (17) и (18) служат, таким образом, для нахождения угла поворота зеркала при вертикальном положении трубы Δ , углов автомоделизации для горизонтального и вертикального положений трубы γ и $\Delta\gamma$ соответственно, которые затем используются для вычисления коэффициентов

Таблица 3
Личные разности при определении гибкости
в $0''$.01

Наблюдатель	Без призмы	С призмой
-------------	------------	-----------

Наблюдения по новому методу

AX—СМ*	-22 ± 5	0 ± 6
AX—ЯЯ	-41 ± 13	-20 ± 11

Наблюдения по методу Бесселя

AX—СМ	$+11 \pm 16$	$+10 \pm 15$
AX—ЯЯ	-24 ± 9	$+8 \pm 10$

* См. примечание к табл. 2.

фициентов b и a , свободных от ошибок поворота зеркала. Очевидно, что средние из каждой пары значений $a_{\text{сю}}$ и $a_{\text{юс}}$ также свободны от ошибок поворота зеркала. Они приведены в табл. 3.

6. Анализ полученных результатов

В табл. 3 приведены значения коэффициента горизонтального гибкости, полученные из определений методом Бесселя (b_B) и новым методом (b_n) в период с 2. VII по 6. XI 1968 г. Однако для дальнейшего анализа взяты только наблюдения, производившиеся с оправами № 4 и 6 (16. VII—6. XI 1968 г.), которые позволяли одновременно получать горизонтальное гибкость двумя методами. Для приведения этих наблюдений на общую систему трех наблюдателей были учтены личные ошибки, а также поправка за разницу веса применявшихся оправ.

Для учета личных ошибок Майора и Яцкива все наблюдения приведены на систему Харина, с помощью систематических разностей (табл. 4). Затем для исправления личной ошибки Харина в наблюдения, производившиеся без реверсионной призмы, введена постоянная поправка, равная $0''.27$, а в наблюдения, производившиеся с оправой № 4, — поправка $+0''.27$. Таким образом, в нашем распоряжении оказалось 26 наблюдений гибкости по методу Бесселя и 55 по новому методу. В каждом из них по восемь наблюдений было сделано при открытой крыше павильона, а остальные — при закрытой. Для оценки точности определения гибкости по методу Бесселя и новому методу найдены дисперсии

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2,$$

где

$$\bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i.$$

Для метода Бесселя $S_B^2 = 1376$, для нового метода $S_n^2 = 324$.

Таблица 4

№ ряда	Дата	Время	Наблюда- тель	$b_{\text{в}}$	$b_{\text{и}}$	α	№ оправы
1968							
1	2.VII	15 ^h 43 ^m	АХ		0''.32		3
2	2.VII	15 53	АХ		0 .32	0''.06	3
3	2.VII	21 20	АХ		0 .24	0 .18	3
4	2.VII	21 54	АХ		0 .24	0 .10	3
5	3.VII	21 42	АХ		0 .32	0 .07	3
6	3.VII	22 19	АХ		0 .07	0 .24	3
7	3.VII	23 56	АХ		0 .72	0 .34	2
8	3.VII	0 27	АХ		0 .62	0 .23	2
9	5.VII	13 08	АХ	1''.32			Кольцо
10	8.VII	22 56	АХ	0 .88			"
11	8.VII	22 56	СМ	0 .52			"
12	8.VII	0 05	АХ	0 .77			"
13	8.VII	0 34	СМ	1 .28			"
14	9.VII	21 50	АХ	1 .18			"
15	9.VII	21 58	ЯЯ	1 .36			"
16	9.VII	22 52	ЯЯ	1 .46			"
17	9.VII	23 21	АХ	1 .15			"
18	10.VII	21 54	АХ	0 .42			"
19	10.VII	22 27	СМ	0 .41			"
20	10.VII	23 11	АХ		0 .20	0 .34	3
21	10.VII	23 42	СМ		0 .42	0 .32	3
22	11.VII	20 46	АХ		0 .20	0 .22	3
23	11.VII	21 36	АХ		-0 .18	0 .60	3
24	11.VII	21 54	ЯЯ		0 .80	0 .08	3
25	11.VII	22 10	АХ		0 .24	0 .25	3
26	11.VII	22 26	ЯЯ		0 .67	0 .38	3
27	11.VII	23 22	АХ	0 .54			Кольцо
28	11.VII	23 56	ЯЯ	0 .89			"
29	15.VII	22 35	АХ	1 .60			"
30	15.VII	23 04	ЯЯ	1 .52			"
31	15.VII	23 52	АХ		-0 .02	0 .10	3
32	15.VII	0 04	ЯЯ		0 .57	0 .35	3
33	15.VII	0 41	АХ		0 .40	0 .23	3
34	16.VII	21 30	АХ		0 .47		4
35	16.VII	23 02	АХ	0 .28			4
36	16.VII	23 03	СМ	--0 .30			4
37	17.VII	20 12	АХ		0 .51	0 .28	4
38	17.VII	20 31	АХ		0 .44	0 .23	4
39	17.VII	23 52	АХ	0 .80	--0 .06		4
40	17.VII	23 54	ЯЯ	1 .22	0 .41		4
41	19.VII	10 53	ЯЯ—АХ	0 .30	0 .68		4
42	22.VII	22 49	АХ		0 .24	0 .24	4
43	24.VII	22 20	АХ		0 .62	0 .00	4
44	24.VII	22 40	СМ		0 .54	--0 .33	4
45	24.VII	23 45	АХ	0 .54	0 .48		4
46	24.VII	0 37	СМ	0 .94	0 .56		4
47	29.VII	0 20	АХ		0 .52	0 .24	4
48	30.VII	10 16	АХ		0 .69	0 .06	4
49	31.VII	20 58	АХ		0 .54	0 .06	4
50	31.VII	22 38	СМ—АХ	0 .25	0 .32		4
51	31.VII	23 41	АХ	0 .54	0 .35		4
52	6.IX	21 03	АХ		2 .20		5
53	6.IX	21 21	АХ		2 .28	--0 .20	5
54	6.IX	21 37	АХ		2 .20	0 .40	5
55	6.IX	22 37	АХ		2 .30	0 .44	5
56	23.IX	17 08	СМ	1 .13	1 .06		6
57	23.IX	17 08	АХ	1 .41	0 .91		6
58	24.IX	15 00	АХ	1 .04	0 .70		6
59	24.IX	15 00	ЯЯ	1 .02	1 .01		6
60	24.IX	21 38	АХ		0 .71	0 .07	6
61	24.IX	22 26	АХ	0 .62	0 .69		6
62	24.IX	23 23	АХ		0 .51	0 .16	6
63	26.IX	14 44	АХ		0 .67	0 .13	6

№ ряда	Дата	Время	Наблюда- тель	b_B	b_H	a	№ оправы
64	26.IX	15 ^h 24 ^m	AX	0''.33	0''.76		6
65	26.IX	16 23	AX		0 .74	-0''.12	6
66	1.X	9 50	AX		0 .66	+0 .26	6
67	1.X	10 40	AX	0 .14	0 .70		6
68	1.X	12 01	AX		0 .80	+0 .11	6
69	2.X	10 17	AX		0 .70	-0 .04	6
70	2.X	10 59	AX	0 .66	0 .74		6
71	2.X	12 18	ЯЯ	0 .53	0 .84		6
72	2.X	13 02	AX		0 .75	+0 .08	6
73	23.X	20 22	СМ		0 .62	0 .13	6
74	23.X	21 22	СМ—AX	0 .54	0 .71		6
75	23.X	0 04	AX	0 .94	0 .88		6
76	24.X	19 08	AX		1 .06	0 .40	6
77	24.X	21 27	AX		0 .96	0 .11	6
78	24.X	21 51	AX		1 .05	0 .34	6
79	24.X	22 24	AX		0 .92	-0 .16	6
80	27.X	19 59	AX		-0 .73	0 .22	6
81	27.X	20 44	AX	0 .92	0 .95		6
82	27.X	23 08	AX	1 .14	0 .77		6
83	29.X	16 37	AX	1 .48	0 .55		6
84	29.X	19 10	AX		0 .64	0 .04	6
85	29.X	20 38	ЯЯ—AX	0 .87	0 .95		6
86	30.X	19 02	AX		0 .76	-0 .04	6
87	30.X	19 50	СМ—AX	0 .86	0 .85		6
88	30.X	22 06	СМ—AX	1 .22	0 .84		6
89	31.X	21 04	AX		0 .76	0 .22	6
90	5.IX	19 25	AX		0 .86	0 .18	6
91	5.IX	20 39	AX		1 .08	0 .22	6
92	6.IX	9 39	AX		0 .87	0 .12	6
93	6.IX	11 47	AX		0 .86	0 .18	6
94	6.IX	12 29	AX		1 .04	0 .22	6

Приложение. AX — А. Харин, СМ — С. Майор, ЯЯ — Я. Яцкин.

Выясним теперь, являются ли наблюденные различия в дисперсиях случайными отклонениями, обусловленными ограниченностью экспериментальных данных, или же они свидетельствуют о систематическом различии в точности определения гибкости разными методами. С этой целью применим v^2 -критерий [3]:

$$v_2 = \frac{S_B^2}{S_H^2} = 4.2 > v_{0.01}^2 (n_1 - 1, n_2 - 1) = 2.1,$$

где $v_{0.01}^2$ — 1%-ная точка $F(n_1 - 1, n_2 - 1)$ -распределения с $n_1 - 1$ числом степеней свободы числителя и $n_2 - 1$ степеней свободы знаменателя. Отсюда ясно, что различие в приведенных дисперсиях неслучайно. Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что точность одного определения гибкости по новому методу примерно в два раза выше, чем по методу горизонтальных коллиматоров. Произведя графический анализ наблюдений, мы заметили, что в какой-то мере причиной такого результата может быть большая разница в значениях гибкости, полученных при открытой и закрытой крыше. Поэтому для исключения влияния этого различия каждый из рядов был разбит на две группы и найдены соответствующие дисперсии.

Метод Бесселя, крыша закрыта $S_B^2, за = 1189$ (18),
 „ „ „ крыша открыта $S_B^2, от = 943$ (8),
 новый метод, крыша закрыта $S_H^2, за = 230$ (47),
 „ „ „ крыша открыта $S_H^2, от = 456$ (8).

(В скобках указано число использованных наблюдений в группе). Применим теперь v^2 -критерий к каждому из методов, для двух различных групп наблюдений:

$$v_{\text{Б}}^2 = \frac{S_{\text{Б, от}}^2}{S_{\text{Б, за}}^2} = \frac{943}{1189} = 0.8 < v_{0.05}^2 (7.17) = 3.5,$$

$$v_{\text{Н}}^2 = \frac{S_{\text{Н, от}}^2}{S_{\text{Н, за}}^2} = \frac{456}{230} = 2.0 < v_{0.05}^2 (7.46) = 2.2.$$

Различия дисперсий внутри каждого ряда наблюдений несущественны.

Для проверки значимости систематического различия в значениях горизонтального гнущия, полученных при закрытой и открытой крыше, используем t -критерий Стьюдента. В статистике доказывается, что если результаты наблюдений в обеих группах равноточны, а случайные ошибки подчиняются нормальному распределению, то при отсутствии систематического различия величина

$$t_N = \frac{\bar{b}_x - \bar{b}_y}{S_0},$$

где

$$S_0 = \sqrt{\frac{(n_x + n_y)(n_x S_x^2 + n_y S_y^2)}{n_x n_y}},$$

$$N = n_x + n_y - 2,$$

\bar{b}_x , \bar{b}_y , S_x^2 , S_y^2 , n_x , n_y — соответственно средние значения дисперсии и количество наблюдений в двух выборках, подчиняется распределению Стьюдента с N степенями свободы.

Если окажется, что

$$t_N > t_{0.01}(N), \quad (21)$$

где $t_{0.01}(N)$ — 1%-ная точка распределения Стьюдента, то гипотеза об отсутствии систематического различия противоречит данным наблюдений. Используя приведенные формулы, находим для метода Бесселя

$$t_{24} = \frac{0.37}{0.14} = 2.6 > t_{0.01} = 2.5,$$

для нового метода

$$t_{55} = \frac{0.23}{0.062} = 3.7 > t_{0.01} = 2.4.$$

Из полученных результатов с вероятностью 0.98 следует, что увеличение гнущия на $0''.37$, при открывании крыши в случае наблюдений с горизонтальными коллиматорами, и уменьшение на $0''.23$ для наблюдений по новому методу являются реальными.

Отсюда ясно, что для проверки гипотезы о различии в точности определения гнущия разными методами нужно пользоваться наблюдениями, выполненными при одинаковых условиях. Проверка по v^2 -критерию дает

при закрытой крыше:

$$v_{\text{за}}^2 = \frac{S_{\text{Б, за}}^2}{S_{\text{Н, за}}^2} = \frac{1189}{230} = 5.2 > v_{0.01}^2 (7.46) = 2.7,$$

при открытой крыше:

$$v_{\text{от}}^2 = \frac{S_{\text{б, от}}^2}{S_{\text{н, от}}^2} = \frac{943}{456} = 2.1 < v_{0.05}^2 (7.7) = 3.8.$$

В первом случае результаты сравнения дисперсий аналогичны описанным результатам общего сравнения. Для наблюдений при открытой крыше дисперсия значений гибкости, полученных новым методом, увеличивается и становится сравнимой с дисперсией для метода Бесселя.

Разница в условиях в случае закрытого и открытого павильонов сводится в конечном итоге к разнице в величине и скорости изменения температурных градиентов. Поэтому можно сделать вывод, что новый метод, более точный в условиях отсутствия температурных деформаций, теряет свое преимущество в случае их появления.

Сравнение средних значений гибкости, получаемых разными методами при одинаковых условиях с применением t -критерия (21), показывает, что при открытой крыше

$$\bar{x} - \bar{y} = 0''.59, \quad S_0 = 0.132,$$

$$t_{14} = \frac{0''.59}{0''.132} = 4.5 > t_{0.01} = 2.6$$

новый метод дает значения гибкости, существенно отличные от значений, получаемых методом горизонтальных коллиматоров. В то же время аналогичные значения гибкости, полученные при закрытой крыше, совпадают: $\bar{b}_{\text{б}} = 0''.80$, $\bar{b}_{\text{н}} = 0''.81$. Последний факт нетрудно понять, если вспомнить, что значения k'_0 и k''_0 выведены нами из наблюдений, произошедшихся при закрытой крыше. Расхождение значений гибкости, полученных различными методами при открытой крыше, может быть объяснено изменением коэффициента k_0 из-за изменения формы трубы в результате ее температурных деформаций. Поскольку в теории нового метода наличие температурных деформаций не учитывалось, то в настоящее время не представляется возможным ответить, на сколько должно измениться k_0 в случае их появления.

Другой причиной замеченного расхождения может быть также то, что новый метод, в отличие от метода горизонтальных коллиматоров, позволяет определять только гибкость трубы. Поэтому примененный нами метод получения коэффициента k_0 из сравнения с наблюдениями по методу горизонтальных коллиматоров верен только в случае, когда гибкость круга равно нулю. Нарушение этого условия, которое могло произойти при появлении несимметричных температурных деформаций круга, должно также повести к расхождению результатов, получаемых двумя методами. В этом случае можно сказать, что разница значений гибкости равна величине гибкости круга.

Однако и в том и в другом случае результаты, получаемые по новому методу при открытой крыше, должны оказаться менее пригодными для исправления наблюденных зенитных расстояний, чем результаты по методу горизонтальных коллиматоров. Поэтому пока приходится согласиться с выводом, что хотя новый метод дает результаты более высокой точности и с меньшей затратой труда, чем метод горизонтальных коллиматоров, достоверность полученных результатов может быть гарантирована только в лабораторных условиях в случае отсутствия температурных деформаций.

Чтобы проверить наше предположение о том, что причиной систематического изменения гибкости является не изменение температуры, а изменение вертикального температурного градиента, были вычислены

соответствующие коэффициенты корреляции \hat{r} и проверена гипотеза о их значимости:

$$\hat{r} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{S_x S_y} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y}}{S_x S_y}$$

где

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i,$$

$$S_x^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2.$$

При отсутствии корреляционной связи должно выполняться неравенство

$$\frac{|\hat{r}| \sqrt{n-2}}{1 - \hat{r}^2} < t_{0.05}(n-2), \quad (22)$$

где $t_{0.05}(n-2)$ — 5%-ная точка t -распределения с $n-2$ степенями свободы. Чтобы исключить возможное влияние систематических ошибок наблюдений, эта проверка проведена только для наблюдений, выполненных при закрытой крыше, которых к тому же гораздо больше.

Для вычисления температуры и температурных градиентов использовались показания двух термисторов, один из которых был установлен под крышей павильсна, а другой — около пола на расстоянии друг от друга около 3 м по вертикали. При вертикальном положении трубы первый термистор находился немного выше объектива, а второй — чуть ниже микрометра. Таким образом, среднее из показаний этих термисторов принималось за температуру воздуха T_i , а разность — за вертикальный градиент ΔT_i .

Для 18 значений горизонтального гнущия, найденных по методу горизонтальных коллиматоров, и соответствующих значений T_i коэффициент корреляции

$$\hat{r}_{b, T_i} = 0.30.$$

Согласно критерию (22),

$$\frac{0.30 \sqrt{18-2}}{1 - 0.09} = 1.32 < t_{0.05} = 1.75$$

гипотеза об отсутствии связи принимается.

Для тех же самых значений b коэффициент корреляции со значениями вертикального градиента

$$\hat{r}_{b, \Delta T_i} = 0.66,$$

что, согласно критерию (22), дает

$$\frac{0.66 \cdot 4}{0.56} = 4.71 > t_{0.05} = 1.75.$$

Таким образом, гипотеза об отсутствии связи должна быть отвергнута. Аналогичные данные получим для 47 определений горизонтального гнутья по новому методу

$$r_{n,i} = 0.05,$$

$$\frac{0.05 \sqrt{47 - 2}}{1 - 0.002} = 0.35 < t_{0.05} = 1.68,$$

$$r_{n,i}, \Delta T_i = 0.25,$$

$$\frac{0.25 \sqrt{45}}{0.94} = 1.78 > t_{0.05} = 1.68.$$

На основании полученных результатов можно заключить, что как для метода Бесселя, так и для нового метода подтверждается гипотеза о существовании корреляционной связи только между значениями горизонтального гнутья и вертикальным градиентом температуры в павильоне. Вывод об отсутствии связи горизонтального гнутья с температурой скружающего воздуха заслуживает внимания, так как до сих пор почти всегда отыскивалась (возможно, и несуществующая) его зависимость от температуры окружающего воздуха. Заметим, однако, что полученные нами результаты нельзя считать окончательными, поскольку они найдены по сравнительно небольшому материалу, который служил главным образом для иллюстрации применения нового метода определения гнутья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харин А. С., Назарова Н. В. — Труды 17-й астрометрической конференции. Л., 1967, 202—205.
2. Харин А. С. — Астрометрия и астрофизика, 7. «Наукова думка», 1969.
3. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. «Наука», М., 1965.

INVESTIGATION OF THE WANSHAFF VERTICAL CIRCLE FLEXURE BY MEANS OF AUTOCOLLIMATION

S. P. MAJOR, N. N. NAZAROVA, A. S. KHARIN, Ya. S. YATSKIV

Summary

The device is described for the determination of the Wanshaff vertical circle flexure by the method developed at the Main Astronomical Observatory of the Ukrainian Academy of Sciences. The results are given of investigation of horizontal and vertical flexure by means of the new device. It was concluded that the new method provides more precise results than that of horizontal collimators. However, in the case of the temperature deformations, the method gives essentially different results. Application of the statistical criteria made it possible to establish the correlation between the flexure and vertical temperature gradient. The correlation with the temperature was not found.