

УДК 528.5

А. В. ГОЖИЙ

### СОВМЕСТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ОБОРОТА И ОШИБОК ВИНТА ПОЗИЦИОННОГО МИКРОМЕТРА АСТРОНОМИЧЕСКОГО УНИВЕРСАЛА

Цена оборота и ошибки винта окулярного микрометра являются важнейшими инструментальными характеристиками, от точности определения которых в значительной мере зависит точность астрономических определений, основанных на микрометрических измерениях (нахождение широты по способу Талькотта, нахождение азимута по наблюдениям звезд в вертикале предмета). Указанные характеристики обычно определяют раздельно. Цену оборота винта  $R$  находят либо из наблюдений шкальных пар в меридиане, либо из наблюдений моментов прохождений звезд в элонгации или меридиане. Ошибки винта определяют в лабораторных условиях либо на специальном приборе — испытателе винтов, либо с помощью коллиматора, либо с помощью специального микроскопа [4, 5].

Такой путь определения цены оборота и ошибок винта нельзя признать достаточно совершенным. Во-первых, раздельные определения требуют значительных затрат времени на производство самих наблюдений. Во-вторых, ошибки винта определяются здесь в условиях, весьма отличных от условий, в которых работает винт в процессе наблюдений. В-третьих, для определения ошибок винта необходимо иметь вспомогательные инструменты.

Нам представляется более удобным ошибки винта микрометра находить совместно с его ценой оборота из наблюдений моментов прохождений изображений звезд через определенные места поля зрения, выполняя обработку наблюдений способом, подобным тому, который применил Ш. Юми, определяя цену оборота и прогрессивные и периодические неравенства винта зенит-телескопа МСШ в Мидзусаве [6]. Правда, для этого необходимо иметь длительный ряд наблюдений. Ш. Юми, например, производил указанные определения по рядам наблюдений звезд в элонгации, состоящим из нескольких сот отдельных наблюдений. Однако в силу известных обстоятельств ставить задачу получения большого количества определений  $R$  на малом инструменте, оснащенном обычным окулярным микрометром, представляется делом нереальным. Поставить такую задачу можно лишь тогда, когда окулярный микрометр астрономического универсала позиционный.

В этом случае за сравнительно непродолжительное время можно получить значительное число отдельных определений  $R$  по наблюдениям моментов прохождения звезды в произвольных часовых углах, что было уже отмечено в [3]. Если к тому же микрометр и контактный, то в произвольных часовых углах можно наблюдать звезды, имеющие большую скорость движения вдоль суточной параллели ( $\delta < 40^\circ$ ), что еще более сократит затраты времени на наблюдения и соответственно на получение длительного ряда определений  $R$ .



Чтобы установить, можно ли по наблюдениям моментов прохождений звезды в произвольных часовых углах совместно с ценой оборота определить и ошибки винта микрометра малого инструмента и какой длительности ряд определений  $R$  пригоден для этой цели, мы выполнили специальные наблюдения на инструменте, оснащем позиционным контактным микрометром [1].

В произвольных часовых углах мы наблюдали звезду AE 468 ( $\alpha = 19^{\text{h}}15^{\text{m}}$ ,  $\delta = 38^{\circ}05'$ ,  $m = 4,46$ ). Интервал времени между двумя смежными наблюдениями звезды был равен  $5^{\text{m}}$ . Так что на получение ряда, состоящего из 93 отдельных определений  $R$ , в общей сложности нам понадобилось для наблюдений  $8^{\text{h}}10^{\text{m}}$ .

Процесс наблюдений состоял из биссектирования изображения звезды подвижной нитью с фиксированием моментов прохождения на хронографе и отсчитывания уровня в начале и конце биссектирования.

Изображение звезды биссектировалось на участке от 2 до 18 оборота при ввинчивании винта и от 18 до 2 оборота при вывинчивании. Наблюдения ввинчиванием и вывинчиванием чередовались.

На каждом обороте винта на хронографе отмечалось четыре момента времени. Чтобы получить момент прохождения изображения звезды через подвижную нить, когда она находилась в начале  $i$  оборота, мы усредняли те четыре момента времени, которые расположены симметрично относительно начала  $i$  оборота. В результате мы имели  $T'_2, T'_3, T'_4, \dots, T'_{18}$  — наблюдаемые моменты прохождения изображения звезды через подвижную нить, когда последняя находилась в начале 2, 3, 4, ..., 18 оборотов соответственно. Среднее арифметическое из этих моментов принималось за средний момент  $T_{\text{ср}}$  наблюдения звезды при данных установках инструмента и микрометра.

Далее мы находили разности  $\delta T_i = T_i - T_{\text{ср}}$ , по которым известным способом [4] вычисляли значения цены оборота винта  $R_i^s$  по данному одному наблюдению звезды. Как среднее арифметическое из 93 отдельных значений  $R_i^s$  было найдено окончательное значение  $R_{\text{ср}}''$ , равное  $114,500''$ . Перед усреднением отдельные значения  $R_i^s$  были выражены в дуговой мере и исправлены за влияние рефракции. Соответствующие поправки вычисляли по формуле (4) [3]. Поправку за изменение наклонности вычисляли по формуле (2) [3] и вводили в  $T_i$ .

Затем, воспользовавшись полученными индивидуальными значениями  $R_i^s$ , по формуле

$$T_i = T_{\text{ср}} + R_i^s (M_i - 10), \quad (1)$$

мы находили  $T_2, T_3, T_4, \dots, T_{18}$  — вычисленные моменты прохождения изображения звезды через подвижную нить, в которые она находилась бы в начале 2, 3, 4, ..., 18 оборотов соответственно, если бы значение  $R_i^s$  было одно и то же по всей длине винта, а ошибки регистрации моментов отсутствовали.

В формуле (1)  $M_i$  — отсчет по барабану микрометра в целых оборотах, соответствующий данному моменту  $T_i$ .

Соответствующие пары моментов  $T_i$  и  $T'_i$  могут различаться между собой как в случайном, так и в систематическом отношениях. Систематические различия между  $T_i$  и  $T'_i$  как раз и свидетельствуют о наличии ходовых ошибок у данного винта. Стало быть, в нашем случае задача определения ходовых ошибок винта сводится к нахождению систематической части разностей  $\Delta T_i = T'_i - T_i$ . Эту задачу мы решали следующим образом.

Значения  $\Delta T_i$ , полученные из наблюдений одного вечера (30—32 значения  $\Delta T_i$  для каждого оборота), были разбиты на три примерно равные группы. Группировка  $\Delta T_i$  производилась в зависимости от того, какой угол  $\alpha_{\text{ов}}$  составляла ось винта с направлением отвеса в процессе наблюдений.



$\Delta T_i$ , полученные из наблюдений при  $+13^\circ < z_{\text{ов}} < +26^\circ$  относились к одной группе (среднее  $z_{\text{ов}} \approx +21^\circ$ ), при  $+13^\circ > z_{\text{ов}} < -24^\circ$  — ко второй (среднее  $z_{\text{ов}} \approx -6^\circ$ ) и при  $-24^\circ < z_{\text{ов}} < -63^\circ$  — к третьей (среднее  $z_{\text{ов}} \approx -47^\circ$ ). В приведенных неравенствах знак плюс означает, что угол  $z_{\text{ов}}$  отсчитан от направления отвесной линии по ходу часовой стрелки, а знак минус — что угол  $z_{\text{ов}}$  отсчитан против хода часовой стрелки. Необходимость такой группировки  $\Delta T_i$  была вызвана тем, что у исследуемого экземпляра микрометра было замечено изменение ходовых ошибок винта при изменении положения оси винта в пространстве [2].

Далее значения  $\Delta T_i$ , включенные в одну группу, разделялись на две равные подгруппы в зависимости от того, получены ли они из наблюдений ввинчиванием или вывинчиванием винта. В одну такую подгруппу входило 5–6 отдельных разностей  $\Delta T_i$ . Среднее арифметическое из них и принималось за ходовую ошибку ( $\Delta_i^s$ )  $i$  оборота винта по данному ряду разностей  $\Delta T_i$ . Для каждого из трех указанных выше положений микрометра в пространстве было получено по шесть рядов значений ( $\Delta_i^s$ ), среднее арифметическое из которых мы рассматривали как окончательное значение ходовой ошибки  $\Delta_i^s$   $i$  оборота винта при данном положении микрометра.

Полученные таким образом значения ходовых ошибок  $\Delta_i$ , приведенные к условию  $\Delta_{10} = 0$  и выраженные в дуговой мере (в  $0,01''$ ), представлены во 2-й, 3-й и 4-й колонках табл. 1. В конце каждой колонки дана ошибка  $M_{\Delta}$  — средняя среднеквадратическая ошибка определения  $\Delta_i$  при данном положении микрометра, найденная путем осреднения ошибок ( $M_{\Delta}$ ) по группе. В свою очередь ( $M_{\Delta}$ ) <sub>$i$</sub>  — среднеквадратические ошибки определения значений  $\Delta_i$  на  $i$ -м обороте винта при данном положении микрометра — находились по уклонениям отдельных значений ( $\Delta_i$ ) от соответствующего среднего значения  $\Delta_i$ .

Таблица 1

Значения ходовых ошибок винта для разных положений микрометра,  $0,01''$

Обороты	ZOB					
	Наблюдения звезды AE 468			Измерение стандартного интервала		
	$+21^\circ$	$-6^\circ$	$-47^\circ$	$+30^\circ$	$0^\circ$	$-45^\circ$
2	+91	+27	-78	-60	-5	-34
3	+53	-5	-65	-31	-6	-37
4	+26	+9	-71			
5	+8	-26	-87	-32	+3	-23
6	-26	-13	-64			
7	-33	-11	-32	-2	-11	-19
8	-30	-9	-19			
9	-25	-1	-5	0	0	0
10	0	0	0			
11	-19	+9	+4	-11	-7	-5
12	-20	-9	-7			
13	+6	+4	-28	-24	-14	-2
14	+8	-5	-60			
15	+7	-2	-70	-44	-1	-15
16	+22	-11	-79			
17	+25	-1	-92	-60	-7	-35
18	+44	-27	-94	$\pm 6$	$\pm 6$	$\pm 7$
$M_{\Delta}$	$\pm 11$	$\pm 10$	$\pm 10$			

С целью сравнения ходовые ошибки винта исследуемого микрометра для положений микрометра в пространстве, соответствующих  $z_{\text{ов}} = +30^\circ$ ,  $0^\circ$  и  $-45^\circ$ , были получены также по измерениям стандартного интервала, который задавался с помощью специального микроскопа для исследования винтов [5]. Значения этих ошибок приведены в 5-й, 6-й и 7-й колонках табл. 1. Каждый ряд значений  $\Delta_i$  получен здесь как среднее арифметическое



из шести отдельных рядов определений  $\Delta_i$  по общепринятой программе [4].

Аналогичным путем из наблюдений моментов прохождения звезды в произвольных часовых углах можно получить и периодические ошибки винта. Они могут быть выделены как систематическая часть разностей наблюдаемых и вычисленных моментов прохождения изображения звезды через подвижную нить, когда она находится в определенных (желательно равноотстоящих друг от друга) точках поля зрения в пределах одного оборота винта [6]. В нашем случае эти точки определялись отсчета-ми микрометра, равными 0,125, 0,375, 0,625 и 0,875 долей оборота винта.

Уверенно выделить периодические ошибки винта таким способом нам не удалось, так как по величине они оказались такого же порядка, как и ошибки их определения. Полученные значения периодических ошибок для трех положений микрометра приведены во 2-м, 3-м и 4-м столбцах табл. 2. В последней строке таблицы указаны  $M_\Delta$  — средние среднеквадратические ошибки определения периодических ошибок при данном положении микрометра.

Таблица 2

Значения периодических ошибок винта для разных положений микрометра, 0,01"

Доли оборота	ЗОВ					
	Наблюдения звезды AE 468			Измерение стандартного интервала		
	+21°	-6°	-47°	+30°	0°	-45°
0,125	-9	-2	-9	-2	+2	+6
375	+8	+11	+10	+7	+8	+3
625	-4	+3	+10	+5	-1	-5
875	+12	-9	-15	-8	-7	-2
$M_\Delta$	$\pm 14$	$\pm 11$	$\pm 15$	$\pm 8$	$\pm 6$	$\pm 8$

Подобную картину мы получили и при определении периодических ошибок по измерениям стандартного интервала, задаваемого с помощью специального микроскопа. Результаты этих определений представлены в 5-м, 6-м и 7-м столбцах табл. 2.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Из наблюдений моментов прохождений звезд в произвольных часовых углах совместно с ценой оборота можно достаточно уверенно получить и ходовые ошибки винта. 30—40 отдельных наблюдений звезды контактным методом вполне достаточно для этой цели. При наблюдении звезд, имеющих большую скорость движения вдоль суточной параллели ( $\delta < 40^\circ$ ), на выполнение такого объема наблюдений потребуется около трех часов времени.

2. Ходовые ошибки винта, определенные по наблюдениям моментов прохождения звезды, как и ходовые ошибки, полученные по измерениям стандартного интервала, задаваемого с помощью специального микроскопа, не остаются постоянными при изменении расположения оси винта в пространстве.

3. При одинаковых положениях микрометра в пространстве значения ходовых ошибок винта, полученные двумя указанными выше методами, не совпадают между собой. В связи с этим возникает вопрос, а какие же значения ошибок лучше характеризуют данный винт?

Независимо от того, какими причинами вызваны эти различия, можно утверждать, что ходовые ошибки, полученные по наблюдениям звезд, то есть в таких же условиях, в каких ведутся и основные астрономические определения, являются более точной характеристикой ходовых неравенств



ны оборота винта, чем таковые, найденные в лабораторных условиях, весьма далеких от реальных условий астрономических определений. Этими данными и следует пользоваться при обработке астрономических определений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гожий А. В., Овчинников В. А. Позиционный контактный микрометр астрономического универсала. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 9, Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1969.
2. Гожий А. В. К вопросу о ходовых и периодических ошибках винта окулярного микрометра астрономического универсала. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 12, Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1970.
3. Гожий А. В. Сравнение нескольких способов определения цены оборота винта позиционного контактного микрометра астрономического универсала. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 13, Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1971.
4. Колупаев А. П., Мауерер В. Г., Старостин А. М. Практическое руководство по геодезической астрономии. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 148, М., 1962.
5. Попов Н. А. Большой полтавский зенит-телескоп и наблюдения на нем в 1939—1940 гг. Тр. Полтавской гравиметрической обсерватории, т. III, Киев, 1950.
6. Yum i S. Micrometer Value of the International Zenith Telescope of Mizusawa. Publ. of the Intern. Latitude Observ. of Mizusawa», 2, № 3, 1957.

Работа поступила 27 апреля 1971 года.  
Рекомендована кафедрой высшей геодезии и гравиметрии  
Львовского политехнического института.

---