

Результаты измерений геометрических параметров

Таблица 1

Геометрические параметры	Номер ЭОС						
	Проектор*	1	2	3	4	5	6
Расстояние катод-модулятор, мм	С	0,218	0,221	0,208	0,198	0,199	0,207
	З	0,212	0,197	0,197	0,215	0,208	0,212
	К	0,198	0,209	0,220	0,212	0,197	0,208
Диаметр отверстия в модуляторе, мм	С-х	0,503	0,506	0,500	0,497	0,502	0,498
	З-у	0,505	0,507	0,495	0,501	0,495	0,508
	З-х	0,509	0,500	0,504	0,503	0,497	0,501
	у	0,490	0,494	0,496	0,502	0,499	0,500
	К-х	0,489	0,507	0,496	0,498	0,500	0,496
	у	0,488	0,504	0,502	0,503	0,502	0,501
Перекося электродов, мм	М	0,063	0,044	0,07	0,095	0,062	0,038
	М	0,092	0,046	0,058	0,062	0,037	0,024
	у	0,032	0,045	0,066	0,026	0,054	0,028
Соосность модулятора и фокусирующего устройства, мм	у	0,045	0,047	0,076	0,024	0,048	0,030
	у	0,01	0,011	0,013	0,000	0,01	0,000
	ф	0,016	-0,037	0,013	0,005	-0,014	-0,012
Эксцентриситет со стороны модулятора, мм	х	0,087	-0,089	0,057	0,061	0,046	-0,031
	у	0,003	0,029	-0,029	0,000	-0,021	0,037
	х	0,032	-0,002	-0,002	0,032	0,000	0,032
Эксцентриситет со стороны модулятора, мм	у	0,005	-0,004	0,004	0,015	-0,047	-0,003
	у	0,059	0,056	0,063	0,089	-0,028	-0,002
	х	3,507	3,509	3,508	3,497	3,478	3,471
хс	3,446	3,497	3,502	3,507	3,503	3,495	

* Проекторы: К — красный, З — зеленый, С — синий.

Напряжения проекторов и их разброс

Таблица 2

Номер ЭОС	$U_{\text{зип}}^{\text{в}}$			$\Delta U_{\text{зип}}^{\text{в}}$	$U_{\text{ф}}^{\text{кв}}$			$\Delta U_{\text{ф}}^{\text{кв}}$	$U_{\text{усе}}^{\text{в}}$
	С	З	К		С	З	К		
1	54	49	48	6	2,31	2,3	2,35	0,04	440
2	55	52	54	3	2,17	2,24	2,24	0,07	380
3	51	48	54	6	2,38	2,40	2,32	0,06	430
4	48	52	50	4	2,32	2,36	2,38	0,06	420
5	51	48	47	4	2,3	2,33	2,28	0,05	440
6	49	54	48	6	2,18	2,27	2,3	0,03	400

торами. Величина разброса фокусирующего напряжения ($U_{\text{ф}}$) проекторов незначительна вследствие малого смещения. Расположение следов пучков на экране носит вероятностный характер и подавляющим большинством случаев не выходит за пределы круга радиусом 2,5 мм. При изготовлении комплектных ЭОС весьма важно обеспечить планарность, т. е. обеспечение минимального отклонения центра отверстий от прямой, проходящей через центры

других отверстий. Для удовлетворительной работы ЭОС это отклонение не должно превышать 0,02 мм в области ее формирующей части. Несимметрично расположенные центры крайних отверстий относительно центрального влияют на несимметричное расположение следов пучков в области отклоняющей системы и на экране кинескопа. Более существенным источником несимметричности положения пучков, как в области отклонения, так и их следов на экране, является суммарное смещение отверстий главных фокусирующих линз, связанное с точностью изготовления деталей ЭОС, спейсеров, сборочной оправки и др.

Суммарное смещение составляет 50% значения ориентированного смещения пучков, обеспечивающего их сведение в плоскости маски. Суммарные смещения, как правило, имеют случайные направления. Они не должны превышать 0,05 мм. Уменьшить диаметр круга рассеяния следов пучков на экране можно лишь путем уменьшения допусков на размеры деталей ЭОС и сборочной оправки.

Статья поступила в редакцию 25. 04. 84

УДК 528.35

Я. М. КОСТЕЦКАЯ

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЯДОВ ТРИЛАТЕРАЦИИ

В трилатерационных сетях наиболее простыми фигурами, в которых можно провести контроль полевых измерений, являются центральная система и геодезический четырехугольник. Как следует из [1—5], точность трилатерационного ряда зависит не только от вида и числа фигур, из которых он построен, но и от их формы. Кроме того, ряды из разных фигур позволяют определить координаты пунктов на положе местности разной ширины с разной плотностью пунктов, т. е. их нельзя считать равноценными. Поэтому сравним в рядах трилатерации равной протяженности, но из разных фигур (см. рисунок), не только точность определения положения наиболее слабого пункта и точность дирекционного угла наиболее удаленной стороны, но и размер территории, покрываемой рядами, число сторон и пунктов в них, а также среднее число k сторон на один пункт. Сравнение этих показателей проведем в рядах из геодезических прямоугольников с продвигом $l=0,8$ и 1,2, из трехлучевых соприкасающихся центральных систем (см. рисунок, в) и из шестилучевых соприкасающихся (перекрывающихся) центральных систем.

Оценку точности рядов произведем по формулам из [3—5] и введенным нами. В формулах m — средняя квадратическая ошибка измерения стороны; l и h — средние квадратические сдвиги, соответственно продольные и поперечные наиболее слабой точки

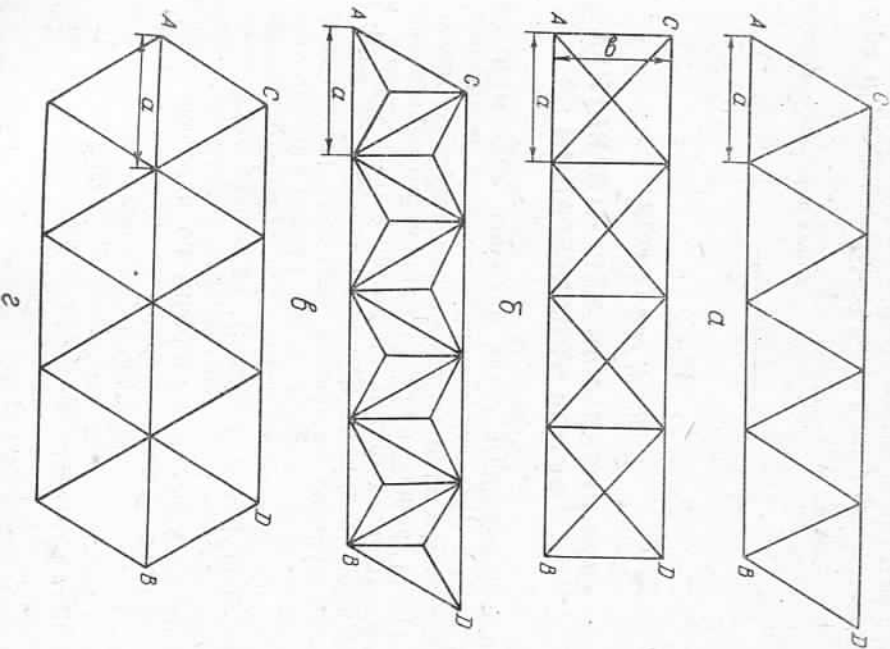
ряд: N — число фигур (треугольников, четырехугольников или центральных систем) в ряде; m_a — средняя квадратическая ошибка дирекционного угла наиболее удаленной стороны; $l = a/b$, где a — сторона четырехугольника, расположенная вдоль ряда; b — сторона четырехугольника, расположенная поперек него (см. рисунки *а*, *б*). Это соотношение называют продвигом четырехугольника.

Сравним свободные ряды трилатерации. Для оценки точности рядов из геодезических прямоугольников воспользуемся простыми формулами из [3], полученными путем аппроксимации строим формулы И. А. Кутузова [5]:

$$t(N) = m(0,980 - 0,0381 l) \sqrt{N};$$

$$u(N) = m(0,191 + 0,782/N + 0,806 l N^{0,2});$$

$$m_a = (m/a) \rho \sqrt{2} N. \quad (1)$$



Схемы рядов трилатерации из: треугольников (*а*); геодезических четырехугольников (*б*); сопрягающихся центральных систем (*в*); сопряженных центральных систем (*г*).

Средняя погрешность этих формул составляет 5, максимальная — 10%.

Точность свободных рядов из трехлучевых сопрягающихся центральных систем изучена И. А. Кутузовым. Им выведены строение формулы для рядов из таких трехлучевых систем, в которых стороны по периметру равны между собой и радиальные стороны тоже равны между собой:

$$t(N) = m \sqrt{0,457 N};$$

$$u(N) = m \sqrt{0,8(N/2)^2 - 0,634(N/2)^2 + 0,155(N/2) + 0,82};$$

$$m_a = (m/a) \rho \cdot 1,11 \sqrt{N}. \quad (2)$$

В ряде из сопряженных равносторонних центральных систем оленем положение пункта B и дирекционный угол стороны BD (см. рисунок, *г*) по полученным нами строгим формулам

$$t(N) = m \sqrt{0,333 N + 1,49};$$

$$u(N) = m \sqrt{0,2222 N^2 + 1,533 N^2 + 3,24 N + 1,93};$$

$$m_a = (m/a) \rho \sqrt{0,667 N + 3,40}. \quad (3)$$

Для сравнения оценим аналогичные элементы ряда трилатерации из равносторонних треугольников по строгим формулам

$$t(N) = m \sqrt{0,5 N};$$

$$u(N) = \sqrt{0,111 N^3 - 0,083 N^2 + 0,72 N};$$

$$m_a = (m/a) \rho \sqrt{0,333(4N + 2)}. \quad (4)$$

Примем, что в рядах из всех фигур длины сторон a (см. рисунок), образующих диагональ (замыкающую) AB , одинаковы и равны 1 км. При этом, как видно из рисунка, число фигур N в рядах равной протяженности разное. Так, в ряде длиной 4 км из треугольников и сопрягающихся центральных систем $N=8$, из геодезических четырехугольников $N=4$, а из сопряженных центральных систем $N=3$.

По формулам (1)–(4) проведем оценку точности рядов длиной 4 и 8 км. При этом будем считать, что средняя квадратическая ошибка измеренной стороны $m=1$ см, а относительная погрешность сторон $m/a=1:100\,000$. Результаты вычислений по формулам сведены в табл. 1. В ней даны также соотношения сдвигов u/l , ширина ряда, число пунктов и сторон и среднее число k сторон на один пункт.

Полученные результаты показывают, что в рядах из малого числа фигур существенных различий в точности определения положения пунктов и дирекционных углов нет. Но с увеличением числа фигур наиболее точными являются ряды из сопряженных

Центральных систем. В ряде из восьми геодезических четырехугольников с продвигом 0,8 поперечный сдвиг и ошибка дирекционного угла больше примерно на 30%, чем в ряде равной длины из сопряженных центральных систем. С увеличением продвиги ошибки элементов ряда растут. Следовательно, в рядах трилатерации необходимо применять или геодезические четырехугольники с продвигом, меньше 1, или ряды из сопряженных центральных

Таблица 1
Сравнение свободных рядов трилатерации ($m=1$ см, $a=1$ км)

Показатель	Ряды трилатерации			
	на трехугольничков	из геодезических четырехугольников с $l=0,8$	из геодезических четырехугольников с $l=1,2$	из сопряженных центральных систем
N	8	4	4	8
l , см	2,0	1,9	1,9	1,9
u , см	7,6	5,2	7,2	6,5
u/l	3,8	2,7	4,0	3,4
m , ... "	6,7	5,8	5,8	6,5
Ширина ряда, км	0,87	1,25	0,83	0,87
Число пунктов	10	10	10	18
Число сторон	17	21	21	41
k	1,7	2,1	2,1	2,3

Показатель	Длина ряда 8 км			
	из геодезических четырехугольников с $l=0,8$	из геодезических четырехугольников с $l=1,2$	из сопряженных центральных систем	из сопряженных центральных систем
N	16	8	8	16
l , см	2,8	2,7	2,6	2,7
u , см	21,1	14,7	22,0	19,3
u/l	7,5	5,4	8,5	7,2
m , ... "	9,7	8,2	8,2	9,1
Ширина ряда, км	0,87	1,25	0,83	0,87
Число пунктов	18	18	18	34
Число сторон	33	41	41	81
k	1,8	2,3	2,3	2,4

систем. В первом случае определим меньшее число пунктов на более узкой полосе местности, чем во втором.

Если на узкой полосе местности необходимо определить большее число пунктов, то в этом случае можно использовать ряды из трехлучевых центральных систем. Но точность их ниже точности рядов из сопряженных центральных систем. Точность рядов из трехлучевых центральных систем близка к точности рядов равной протяженности из центральных систем только в том случае, когда длины радиальных сторон трехлучевых систем равны длинам сторон шестилучевых центральных систем.

Во всех рядах трилатерации поперечные сдвиги в несколько раз больше продольных.

Наибольшее число сторон на один пункт приходится в ряде из сопрягающихся центральных систем, а наименьшее — в ряде из треугольников. На втором месте по этому показателю находится ряд из сопряженных центральных систем.

Рассмотрим, как на точность определения положения пунктов в рядах трилатерации влияют дирекционные углы крайних сторон, т. е. оценим ряды трилатерации, в которых дирекционные углы сторон AC и BD (см. рисунок) — исходные. Сдвиги точки B относительно точки A в ряде из треугольников определим по формулам

$$t(N) = m\sqrt{0,25 N + 0,125};$$

$$u(N) = m\sqrt{0,02778 N^3 + 0,0417 N^2 + 0,0972 N - 0,291}. \quad (5)$$

Для определения сдвигов точки B в рядах из геодезических прямоугольников тоже воспользуемся формулами из [3]:

$$t(N) = m(0,688 - 0,0576 D)\sqrt{N};$$

$$u(N) = m(0,743 - 0,0174 N + 0,410 lN)\sqrt{N}. \quad (6)$$

А сдвиги точки B в ряде из сопряженных центральных систем определим по нашим формулам

$$t(N) = m\sqrt{(1/3)N + 1,49 - 6/(N+5,1)};$$

$$u(N) = m\sqrt{-0,0849 N^3 + 2,60 N^2 - 3,73 N + 8,0}. \quad (7)$$

Результаты вычислений приведены в табл. 2. В скобках показано, на сколько процентов уменьшился сдвиг по сравнению

Таблица 2
Сравнение рядов трилатерации, построенных между исходными дирекционными углами $m=1$ см, $a=1$ км

Показатель	Ряды трилатерации			
	из геодезических трехугольников	из геодезических четырехугольников с $l=0,8$	из геодезических четырехугольников с $l=1,2$	из сопряженных центральных систем
N	8	4	4	3
l , см	1,4(30)	1,3(32)	1,2(37)	1,3(19)
u , см	4,9(36)	4,0(27)	5,3(31)	4,2(25)
u/l	3,5	3,1	4,4	3,2
Длина ряда 4 км				
N	16	8	8	6
l , см	2,0(29)	1,8(33)	1,8(31)	1,7(11)
u , см	11,8(44)	9,1(38)	12,8(42)	8,3(24)
u/l	5,9	5,1	7,1	5,0
Длина ряда 8 км				

е соответствующим свободным рядом. Как видим, исходные дирекционные ряды наиболее существенно повышают точность рядов из треугольников и из четырехугольников с продвигом 1,2. Наиболее слабое их влияние на точность положения пунктов в рядах из сопряженных центральных систем. При наличии исходных дирекционных углов поперечные сдвиги пунктов тоже в несколько раз больше продольных.

Теперь рассмотрим ряды, в которых пункты А, В, С и D — исходные. Наиболее слабые элементы в этом случае будут расположены в середине рядов. Сдвиги наиболее слабой точки и ошибку дирекционного угла стороны, расположенной в середине ряда из треугольников, найдем по формулам

$$t(K) = m\sqrt{0,075 N + 0,18};$$

$$u(K) = m\sqrt{0,16 N^2 - 0,44 N + 2,84};$$

$$m_a = (m/a) \rho \sqrt{0,2 N - 2,8}.$$

Точность этих же элементов в рядах из геодезических четырехугольников определим так:

$$t(K) = m\sqrt{0,475 + 0,0520 N + (0,093 N - 0,101) / N!};$$

$$u(K) = m\sqrt{0,502 - 0,00369 N + 0,118 (N/N!)};$$

$$m_a = (m/a) \rho \sqrt{0,626 + 0,0489 N + (0,116 - 0,0357 N) / l}.$$

Ряд из сопряженных центральных систем оценим по формулам

$$t(K) = m\sqrt{0,09 N + 0,42}; \quad u(K) = m\sqrt{0,0883 N^2 + 0,11 N + 0,615};$$

$$m_a = (m/a) \rho \sqrt{-0,035 N^2 + 0,42 N + 0,065}.$$

По этим формулам оценим ряды протяженностью 4 и 8 км. Как видим из данных табл. 3, исходные пункты существенно повышают качество трилатерационных рядов. Ошибки элементов ряда уменьшаются в 3...4 раза. Значительно сближаются значения в рядах из сопряженных центральных систем и из геодезических четырехугольников с продвигом 0,8 примерно одинаковы. А точность дирекционных углов в рядах из геодезических четырехугольников на 25...30% выше, чем в рядах из центральных систем. С увеличением продвига четырехугольников поперечные сдвиги наиболее слабых пунктов возрастают. При продвиге 1,2 поперечные сдвиги пунктов на 20...40% больше, чем в ряде из центральных систем.

Данные табл. 1, 2, 3 соответствуют рядам трилатерации с длинами длинами сторон, но с замыкающими, состоящими из четырех и восьми сторон.

Сдвиги соответствуют средней квадратической ошибке измеренных сторон, равной 1 см, а средние квадратические ошибки дирекционных углов — относительной ошибке сторон 1:100 000.

При другой точности измерения линий сдвиги в таблицах нужно умножить на среднюю квадратическую ошибку стороны, а ошибку дирекционных углов — на коэффициент 100 000/M, где M — знаменатель относительной ошибки сторон. Таким образом, все выводы, сделанные для рядов со сторонами $a=1$ км, действительны для рядов с любыми длинами сторон и любой точностью их измерения.

Анализ формул (1), (6) и (9) показывает, что продвиг фигур действует наиболее чувствительно на поперечный сдвиг пунктов

Таблица 3
Сравнение рядов трилатерации, построенных между четырьмя исходными пунктами $m=1$ см, $a=1$ км

Показатель	Ряды трилатерации		
	из треугольников	из геодезических четырехугольников с $l=0,8$	из геодезических четырехугольников с $l=1,2$
	Длина ряда 4 км		
N	8	4	4
t , см	0,9(55)	0,8(58)	0,7(63)
u , см	3,1(59)	1,2(78)	1,6(79)
u/l	3,4	1,5	2,3
m_a, \dots	3,9(42)	1,6(72)	1,6(72)
	Длина ряда 8 км		
N	16	8	8
t , см	1,2(57)	1,0(63)	1,0(62)
u , см	6,1(71)	2,6(82)	3,7(83)
u/l	5,1	2,6	3,7
m_a, \dots	5,0(48)	1,7(79)	1,8(78)
	Длина ряда 6 км		
N	16	8	6
t , см	1,2(57)	1,0(63)	1,0(53)
u , см	6,1(71)	2,6(82)	2,1(81)
u/l	5,1	2,6	2,1
m_a, \dots	5,0(48)	1,7(79)	2,4(57)

рядов трилатерации из геодезических прямоугольников. При этом что действие на сдвиг быстро увеличивается с ростом числа фигур в ряде (пропорционально $N^{3/2}$). В ряде с постоянным числом фигур поперечный сдвиг, как и другие показатели точности, прямо пропорционален значению продвига. Поэтому очевидно, что при продвигах меньше 0,8 погрешности рядов из четырех и восьми геодезических прямоугольников будут меньше указанных в табл. 1, 2, 3 и соответственно при продвигах больше 1,2 они будут больше. Отсюда следует, что точность рядов из геодезических прямоугольников только при продвигах 0,8 и меньше равна точности рядов из сопряженных центральных систем.

Во всех рядах трилатерации сдвиги и ошибки дирекционных углов быстро увеличиваются с ростом числа фигур в ряде. Но не трудно проверить, что при замыкающих, состоящих из числа сторон не более четырех, точность элементов всех рядов практически равна за исключением рядов из геодезических прямоугольников с продвигом больше 1. Скорость увеличения сдвигов при

дальнейшем увеличении числа сторон, составляющих замкнутую шую, наименьшая в рядах из сопряженных центральных систем. Поэтому при создании рядов с числом сторон, составляющих на замыкающую, больше 4, предпочтены следующие ряды: Формулы (3), (7) и (10) публикуются впервые. При этом формулы (3) — строгие, а (7) и (10) получены путем упрощения строгих, но громоздких формул. При $N < 11$ точность их 1...3%.

Список литературы: 1. Аркашова У. П. Оценка точности рядов прямоугольников с измеренными сторонами и диагоналями. — Науч. тр. ОмСХИ, 1970, № 2. 2. Брошштейн Г. С. К вопросу об оценке точности ряда трилатерации. — Ниж.-строит. изыскания, 1974, № 1(34). 3. Брошштейн Г. С., Сидорова А. С. Аппроксимация формул для оценки точности ряда трилатерации. — Геодезия и картография, 1974, № 1. 4. Костычева Я. М. К вопросу оценки точности сплюснутых сетей трилатерации. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, 1967, вып. 6. 5. Курузов И. А. Накопление погрешностей в рядах трилатерации с измеренными сторонами. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотогеодезия, 1957, вып. 2.

Статья поступила в редакцию 14.02.84

УДК 528.28

М. П. КУЛИНИЧ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ АЗИМУТА НАПРАВЛЕНИЯ ИЗ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИИ ЗВЕЗД В ВЕРТИКАЛЕ ЗЕМНОГО ПРЕДМЕТА

Общий анализ методов определения азимута показывает, что одним из наиболее точных является метод, основанный на наблюдениях прохождение звезд в плоскости вертикаля наблюдаемой цели [8].

Точность азимутальных определений в рассматриваемом методе зависит в основном от точности регистрации моментов прохождения звезд в вертикале наблюдаемого направления. Поэтому при наблюдениях целесообразно применять объективные (безличные) методы регистрации времени.

В сентябре 1983 г. на кафедре высшей геодезии и астрономии Львовского политехнического института выполнены экспериментальные фотографические наблюдения прохождения звезд в вертикале земного предмета. В этих целях использованы астрономический теодолит АУ 2/10, снабженный фотонасадкой на окулярную часть зрительной трубы [4] и трубой-искателем [5].

С помощью кварцевого электронного прибора — универсального полевого хронорегистратора (УПХ), который представляет собой усовершенствованную модель разработанного ранее на кафедре программного хронорегистратора [6], — получили на астро-негативе (фотопластинке) первычистый след звезды и вели учет временных параметров процесса наблюдений. Описанные наблюдения выполнены в экспедиционных условиях на геодезическом полигоне в г. Бережаны Тернопольской обл.

Рабочие эфемериды звезд, использованных при наблюдениях, вычислены на ЭВМ серии ЕС. В программу наблюдений включены звезды не слабе 4,5^m, зенитные расстояния которых при прохождении вертикаля наблюдаемого предмета находились в пределах 50...80°. При построении алгоритма программы вычисления рабочих эфемерид использованы следующие формулы [7]:

$$s = \alpha + (\pm t_0 \pm \Delta t); \quad \Delta t = \arccos(\lg^2 \operatorname{ctg} \delta_0);$$

$$z = \pm z_0 \pm \Delta z; \quad \Delta z = \arccos(\sin \delta \operatorname{cosec} \delta_0), \quad (1)$$

где величины t_0 , δ_0 и z_0 — постоянные для данного пункта с широтой φ и заданного вертикаля A , их значения находят по формулам

$$t_0 = \operatorname{arctg}(\operatorname{ctg} A \operatorname{cosec} \varphi);$$

$$\delta_0 = \arccos(\sin A \cos \varphi);$$

$$z_0 = \arccos(\sin \varphi \operatorname{cosec} \delta_0). \quad (2)$$

Предельные значения склонений звезд вычислены по формуле

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z + \cos \varphi \sin z \cos A, \quad (3)$$

в которой учитывали предельные значения зенитного расстояния и максимальное допустимое склонение для северных звезд δ_0 .

При составлении рабочих эфемерид звезд в память ЭВМ вводят все номера звезд по АЕ, их яркость и значения координат.

К преимуществам составления описанных рабочих эфемерид следует отнести то, что изменение исходных данных (азимута предмета и широты пункта наблюдений) не влечет за собой необходимость доопытительных предварительных расчетов и построения новых графиков в отличие от работ [1, 2, 8].

Перед началом наблюдений выполняли общепринятые поверки и юстировки астроинверсала. Кроме этого, согласовывали параллельность визирных осей зрительной трубы АУ 2/10 и трубы-искателя, определяли и контролировали значение инерционности хода (запаздывания) экспозиционного затвора фотонасадки [6].

В процессе астроопределений наблюдали звезды только в северной части вертикали земного предмета ($A = 4^{\circ}22'$). Часть описываемых наблюдений выполнена при положении прибора КД, а часть — при КП. При этом наблюдения вели по следующей методике.

1. Наблюдение (экспонирование на фотопластинку) земного предмета.

Наводили крест нитей трубы-искателя на фонарь, фотографировали крест в центральной части поля зрения главной трубы АУ 2/10 пронаводили 6...8 раз с небольшими смещениями зрительной трубы в вертикальной плоскости. Вследствие этого на астро-негативе фиксировали часть вертикаля, азимут которого определялся.

2. Наблюдение (экспонирование) звезды.