

Из табл. 1 видно, что наибольшие амплитуды колебаний изображения, соответственно и рефракция, появляются между 12 и 16 часами. В табл. 1 σ_B — максимальная амплитуда колебаний, определенная визуально при помощи теодолита OT-02; σ_T — максимальная амплитуда колебаний, определенная при помощи телевизионной установки.

Таблица 1
Усредненные результаты значений максимальных амплитуд колебаний изображения визирной марки в зависимости от времени суток

$t, \text{ч}$	$L, \text{м}$						
	30		40		50		60
σ_B	σ_T	σ_B	σ_T	σ_B	σ_T	σ_B	σ_T
10 ⁰⁰	0,87	1,23	1,74	1,45	2,61	1,725	4,35
11 ⁰⁰	0,87	1,32	1,74	1,35	1,74	1,325	4,35
12 ⁰⁰	0,87	1,70	2,61	2,18	4,35	2,610	5,22
13 ⁰⁰	0,87	1,82	1,74	2,18	4,35	2,425	5,22
14 ⁰⁰	0,60	2,64	2,61	2,20	2,61	1,820	4,35
15 ⁰⁰	1,74	3,40	3,48	3,45	3,48	2,640	4,35
16 ⁰⁰	1,74	2,60	2,61	2,175	4,35	2,450	5,22
							3,920

Для сравнения точности определения углов рефракции визуально и при помощи телевизионной системы рассмотрим значения углов рефракции, полученные по (2), с вычисленными по формуле

$$\rho_0 = Z_0 - Z_{\text{ср}} \quad (3)$$

где $Z_{\text{ср}}$ — среднее значение измеренных зенитных расстояний; Z_0 — теоретическое зенитное расстояние.

Таблица 2
Средние значения углов рефракции при различных направлениях

Число приемов	Угол рефракции							
	1—2 ($L=30 \text{ м}$)		1—3 ($L=40 \text{ м}$)		1—4 ($L=60 \text{ м}$)			
ρ_0	ρ_B	ρ_T	ρ_0	ρ_B	ρ_T	ρ_0	ρ_B	ρ_T
$n=20$	1,17	0,77	1,13	1,72	2,35	1,82	2,45	3,14
m_p	5,00	3,00	3,00	7,50	3,40	3,40	8,30	4,70
p	0,66	0,96	0,96	1,50	1,10	1,10	1,28	0,94
p/p_0								

Для определения теоретических зенитных расстояний Z_0 было выполнено нивелирование второго класса.

Выполненный нами расчет точности определения превышений и точности измерений высот визирных целей, приборов показывает, что систематические ошибки ΔZ_0 не превышают для линий 1—2, 1—3, 1—4, 1—5 $\pm 1,5\%$, а для линий 1—6 и 1—7 $\pm 1,0\%$.

В табл. 2 приведены средние значения углов рефракции ρ_B и вычисленные по (2) для колебаний изображений $\sigma_{\text{так}}$ и $\sigma_{\text{лик}}$ и приемов измерений.

Из табл. 2 видно, что точность телевизионного метода в 1,5 раза выше, чем визуального, что является следствием уменьшения паралакса и повышения объективности измерений. Об этом свидетельствуют также значения средних квадратических ошибок, полученных как разность смежных приемов измерений по формуле

$$m_p = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}}$$

Метод определения амплитуды колебаний изображения с помощью телевизионной установки дает большую сходимость результатов, чем визуальный. Применение координатной отсчетной сетки с большим разрешением позволит значительно повысить его точность.

Список литературы: 1. Джидин Б. М. Об учете нивелирной рефракции. — В кн.: Весовой совещ. по рефракции электромагнитных волн в атмосфере: тез. докл. Томск, 1983, с. 125—134. 2. Джидин Б. М., Пазиев П. В., Стацкиши И. И. Метод учета нивелирной рефракции. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, 1979, вып. 30, с. 47—51. 3. Колос А. С., Милок М. Г. Малобаритные кинескопы для стереосъемки. — Электронная техника и приборостроение, 1975, № 94, с. 45—50.

Статья поступила в редакцию 17.12.84

Я. М. КОСТЕЦКАЯ

О ТОЧНОСТИ ДИРЕКЦИОННЫХ УГЛОВ В НЕСВОБОДНЫХ СПЛОШНЫХ СЕТКАХ ТРИДАТЕРАЦИИ

Точность дирекционных углов в свободных тридатемерационных построениях изучена хорошо [3—8]. Этому вопросу в несвободных построениях не уделено внимания, за исключением рядов из треугольников и геодезических четырехугольников [1—3]. Постому исследованы ошибки дирекционных углов в сетях тридатемерации с исходными пунктами.

Рассмотрим сети тридатемерации из трех, пяти и семи рядов равносторонних треугольников с четырьмя исходными пунктами, находящимися по углам сети, и двумя исходными дирекционными углами (рис. 1). Конфигурация сетей такова, что в каждом следующем ряду треугольников имеем одинаковое число центральных систем, которое обозначим N . По формуле

$$m = \mu \sqrt{1/P} \quad (1)$$

определим средние квадратические ошибки дирекционных углов сетей тридатемерации с $N=5, 10, 15, 20$ и 25 . В (1) m — средняя квадратическая ошибка дирекционного угла; μ — средняя квад-

Ратическая ошибка измерения сторон сети; $1/P$ — обратный вес
Согласно алгоритму Гаусса

$$1/P = fT - fAT \cdot B^{-1} \cdot Af, \quad (2)$$

где f — вектор коэффициентов весовой функции; A — матрица коэффициентов условных уравнений; B — матрица коэффициентов нормальных уравнений. Поэтому для каждой исследуемой сети нужно установить все возникающие в ней условные уравнения и весовые функции оцениваемых элементов.

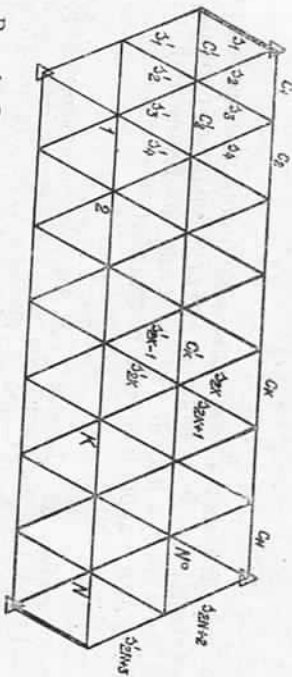


Рис. 1. Схема трекратного ряда с обозначением сторон.

Весовые функции дирекционных углов составлены относительно образцового дирекционного угла стороны s_1 по ходовым линиям, ражения поправок в углы через поправки в стороны дирекционного угла связующей стороны s_{2k} имеет вид

$$F_{\alpha(2k)} = \left[2 \sum_{i=1}^{k-1} (c_i) - 2 \sum_{i=1}^k (c_i') + (s_1) + (s_{2k}) \right] \rho / \sqrt{3} \cdot a,$$

и стороны s_{2k-1}

$$F_{\alpha(2k-1)} = \left[2 \sum_{i=1}^{k-1} (c_i) - 2 \sum_{i=1}^{k-1} (c_i') + (s_1) - (s_{2k-1}) \right] \rho / \sqrt{3} \cdot a,$$

где (c_i) , (c_i') и (s_i) — поправки в стороны c_i , c_i' и s_i (см. рис. 1); a — длина сторон сети. Весовые функции промежуточных сторон c_k составлены по ходовой линии $s_1 s_2 \dots s_{2k-1} c_k$, а сторон c_k' — по ходовой линии $s_1 s_2 \dots s_{2k-2} c_k'$. Вид этих функций такой:

$$F_{\beta} = \left[2 \sum_{i=1}^{k-1} (c_i) + (c_k) - 2 \sum_{i=1}^k (c_i') + (s_1) + \right. \\ \left. + 2(s_{2k}) - 2(s_{2k+1}) \right] \rho / \sqrt{3} \cdot a,$$

$$F_{\beta 1} = \left[2 \sum_{i=1}^{k-1} (c_i) - 2 \sum_{i=1}^{k-1} (c_i') - (c_k) + (s_1) - \right. \\ \left. - 2(s_{2k-1}) + 2(s_{2k}) \right] \rho / \sqrt{3} \cdot a.$$

Весовые функции сторон s_{2k+1} составлены по ходовой линии $s_1 s_2 \dots s_{2k+1}$, а сторон c_k'' — $s_1 s_2 \dots s_1 c_k''$. Весовую функцию связующих сторон s_{2k+1} запишем

$$F_{\alpha(2k+1)} = \left[-(s_1) + 2(s_2) + 2 \sum_{i=2}^k (c_i) - 2 \sum_{i=1}^k (c_i'') - \right. \\ \left. - 2(s_1) + 2(s_2) + (s_{2k+1}) \right] \rho / \sqrt{3} \cdot a,$$

и промежуточных сторон c_k''

$$F_{\beta 2} = \left[-(s_1) + 2(s_2) + 2 \sum_{i=2}^k (c_i) - 2 \sum_{i=1}^{k-1} (c_i'') - (c_k'') - \right. \\ \left. - 2(s_1) + 2(s_2) - 2(s_{2k}') + (s_{2k+1}') \right] \rho / \sqrt{3} \cdot a.$$

Таким же образом составлены весовые функции дирекционных углов остальных сторон.

К матрице A присоединяем вектор f коэффициентов весовой функции и одновременно с определением элементов матрицы B находим r сумм $\sum_{i=1}^n a_{ij} f_i$. Здесь $j=1, 2, \dots, r$, где r — число столбцов, а n — число строк в матрице A . Эти суммы вместе с квадратичным членом весовой функции образуют вектор из $r+1$ элементов, который назовем вектором «нормальной» весовой функции. К матрице B присоединяем вектор «нормальной» весовой функции и в полученной матрице произведем преобразование, связанное с исключением коррелят.

В исследуемых сетях возникает $N(n-1)$ условных уравнений центральных систем (n — число рядов треугольников в сети). Кроме того, имеем шесть условий координат и одно условие дирекционных углов. К системе условных уравнений присоединим весовые функции связующих сторон $(n+1)/2$ верхних рядов треугольников и промежуточных сторон, составляющих $(n+1)/2$ верхних диагоналей. Весовые функции остальных сторон не составлялись, так как благодаря симметричности сети закономерности нахождения ошибок верхней половины сети можно распространить и на ее нижнюю часть.

При определении элементов матрицы B и векторов «нормальных» функций были обнаружены закономерности их образования такого же типа, как показано в [5]. Поэтому составленная нами программа на ЭВМ ЕС-1022 состоит из двух частей. В первой части формируются элементы матрицы B и векторов «нормальных» весовых функций. Вторая часть программы реализует все дальнейшие вычисления по (2).

Как следует из [5] и [6], вектор коэффициентов весовой функции дирекционного угла имеет постоянный множитель $\rho/a\sqrt{3}$, где

a — Длина стороны сети. В составленной программе при формировании элементов вектора весовой функции не учитывался множитель ρ/a . В связи с этим из ЭВМ мы получили значения Q , которые задают зависимость геометрических связей, существующих между исходным и оцениваемыми дирекционными углами без учета длин сторон сети. Обратный вес дирекционного угла характеризуется кроме качества геометрических связей также и раз-

Таблица 1
Средние квадратические ошибки дирекционных углов (числитель) и значений Q (знаменатель) сторон трехкратного ряда с $N=15$, $\mu/a=1/200\ 000$ (...^а)

k	Промежуточные стороны		Связующие стороны	
	c_k	c'_k	s_{2k}	s'_{2k-1}
1	1,40/1,946	1,07/1,150	0,89/0,785	1,38/1,892
2	1,43/2,032	1,12/1,246	1,05/1,100	1,05/1,103
3	1,48/2,205	1,19/1,420	1,13/1,276	1,05/1,098
4	1,49/2,223	1,21/1,460	1,16/1,346	1,05/1,095
5	1,49/2,210	1,21/1,458	1,17/1,366	1,05/1,095
6	1,48/2,186	1,20/1,436	1,17/1,359	1,05/1,095
7	1,47/2,165	1,19/1,411	1,16/1,342	1,05/1,095
8	1,47/2,154	1,18/1,394	1,15/1,327	1,05/1,095
9	1,47/2,158	1,18/1,390	1,15/1,321	1,05/1,094
10	1,47/2,175	1,18/1,401	1,15/1,327	1,05/1,094
11	1,48/2,199	1,19/1,424	1,16/1,342	1,05/1,095
12	1,49/2,220	1,20/1,449	1,17/1,359	1,05/1,095
13	1,49/2,222	1,21/1,463	1,17/1,364	1,04/1,091
14	1,48/2,184	1,20/1,449	1,15/1,336	1,04/1,091
15	1,48/2,184	1,17/1,374	1,11/1,236	1,05/1,100
16	1,33/1,780	1,10/1,219	1,13/1,283	1,33/1,913

меры сети. Переход от Q к обратному весу производим по формуле

$$1/P = Q\rho^2/a^2. \quad (3)$$
Теперь формулу средней квадратической ошибки дирекционного угла можем записать так:

$$m = (\mu/a) \cdot \rho \sqrt{Q}. \quad (4)$$

Для обнаружения закономерностей накопления погрешностей дирекционных углов анализируем значения Q , характеризующие точность дирекционных углов трех-, пяти- и семикратных рядов с $N=5, 10, 15, 20$ и 25 , а также вычисленные по (4) их средние квадратические ошибки. При вычисленных принято, что относительная ошибка измерения сторон $1/200\ 000$, благодаря чему можно считать $(\mu/a)\rho=1$. Выявлены такие основные закономерности накопления погрешностей дирекционных углов в несводных сетях трилатерации.

1. Точность дирекционных углов всех сторон, находящихся в середине сети, практически одинакова. Различия в их средних квадратических ошибках не превышают 15%.

2. Точность дирекционных углов промежуточных сторон, расположенных на краю сети, на 35...40% ниже, чем сторон, находящихся в середине.

3. Увеличение числа N центральных систем в одном сплошном ряду сети очень мало действует на точность дирекционных углов. Так, увеличение N с 5 до 25 увеличивает ошибки дирекционных углов промежуточных сторон трехкратного ряда всего на

Таблица 2
Средние квадратические ошибки дирекционных углов с $\mu/a=1/200\ 000$ (...^а)

N	Промежуточные стороны					Связующие стороны				
	c_5	c'_5	c''_5	c'''_5	s_{10}	s_{2N+2}	s'_{2N+3}	s''_{11}	s'''_{2N+3}	s_{2N+3}
5	1,2	1,0	—	—	1,1	1,1	1,4	—	—	—
10	1,4	1,1	—	—	1,1	1,1	1,4	—	—	—
15	1,5	1,2	—	—	1,2	1,1	1,4	—	—	—
20	1,5	1,3	—	—	1,2	1,1	1,4	—	—	—
25	1,6	1,3	—	—	1,2	1,1	1,4	—	—	—
Трехкратный ряд										
5	1,4	1,0	1,0	—	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	—
10	1,4	1,1	1,0	—	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	—
15	1,4	1,1	1,0	—	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	—
20	1,4	1,1	1,1	—	1,1	1,3	1,4	1,0	1,4	—
25	1,4	1,1	1,1	—	1,1	1,3	1,4	1,0	1,4	—
Пятикратный ряд										
5	1,4	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	—
10	1,4	1,1	1,0	—	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	—
15	1,4	1,1	1,0	—	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	—
20	1,4	1,1	1,1	—	1,1	1,3	1,4	1,0	1,4	—
25	1,4	1,1	1,1	—	1,1	1,3	1,4	1,0	1,4	—
Семикратный ряд										
5	1,4	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	1,3
10	1,4	1,1	1,0	—	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	1,3
15	1,4	1,1	1,0	—	1,1	1,2	1,4	1,0	1,4	1,4
20	1,4	1,1	1,0	—	1,1	1,3	1,4	1,0	1,4	1,4
25	1,4	1,1	1,0	—	1,1	1,3	1,4	1,0	1,4	1,4

30%, а семикратного — на 10%. Действие N на точность дирекционных углов связующих сторон еще меньше.

4. Увеличение числа рядов сети, начиная с пяти, практически не влечет за собой изменения точности дирекционных углов.

Обнаруженные закономерности иллюстрируют табл. 1 и 2. В табл. 1 приведены средние квадратические ошибки и значения Q дирекционных углов промежуточных (c и c') и связующих (s и s') сторон трехкратного ряда с $N=15$ (см. рис. 1), которые подтверждают две первые закономерности. Они также позволяют заметить менее существенные закономерности. Во-первых, то, что точность расположенных в середине сети промежуточных сторон на несколько процентов ниже, чем точность связующих. Во-вторых, точность дирекционных углов сторон любого ряда треугольников сети кроме крайних связующих можно характеризовать двукратной кривой, максимумы которой располагаются на расстоя-

ниях $1/4-1/3$ длины ряда от края сети и затяжкам минимумом между ними. Но при этом разность максимальной и минимальной ошибок составляет около $1...3\%$ с тенденцией уменьшения при увеличении числа рядов в сети.

В табл. 2 приведены средние квадратические ошибки нескольких промеркуточных и связующих сторон, находящихся на одина-

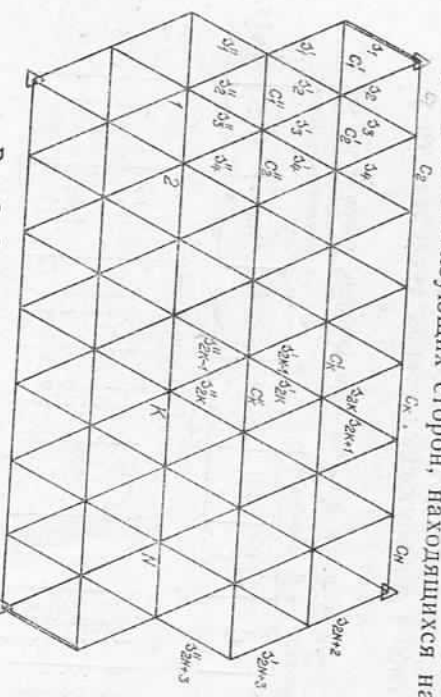


Рис. 2. Схема пятикратного ряда.

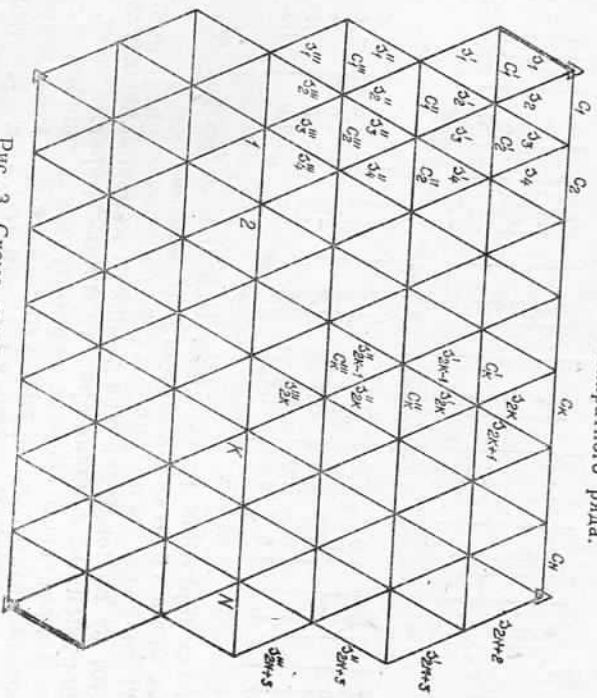


Рис. 3. Схема семикратного ряда.

ковом расстоянии от края сетей из трех, пяти и семи рядов (рис. 2 и 3) треугольников разного размера ($N=5, 10, 15, 20$ и 25). Из табл. 2 видно, что только в трехкратном ряду заметно влияние размера сети на точность дирекционных углов. А переход от пяти до семи рядов практически не влияет на изменение точности дирекционных углов. Кроме этого из табл. 2 видно также, что точ-

ность связующих и промеркуточных сторон, находящихся на краю сети ($S_6, S_{2N+2}, S_{2N+3}, S_{2N+4}$ и S_{2N+5}) практически одинакова. Предлагаем формулы для оценки точности дирекционных углов сторон, находящихся на краю сети,

$$m = \sqrt{2} \cdot \rho \mu / a = 1,4 \rho \mu / a \quad (5)$$

и для сторон, расположенных в ее середине,

$$m = 1,1 \rho \mu / a \quad (6)$$

Сравнивая результаты, получаемые по (5) и (6), с данными табл. 2, видим, что погрешности формул для сетей из пяти и более рядов при $N \geq 5$, не превышают 10% .

По данным табл. 1 и 2 можно определить точность дирекционных углов аналогичных сетей, стороны которых измерены с любой относительной погрешностью. Для этого табличные значения ошибок нужно умножить на коэффициент $\rho \mu / a$.

Список литературы: 1. Арктидова У. П. Оценка точности рядов прямых углольников с измеренными сторонами и диагоналями. — Тр. Омск. с.-х. ин-та, 1970, № 2, с. 136—142. 2. Бронштейн Г. С., Сафонова А. С. Апроксимация формул для оценки точности ряда трилатерации. — Геодезия и картография, 1974, № 1, с. 12—15. 3. Бронштейн С. Г. К вопросу об оценке точности ряда трилатерации. — Инженерно-строительные приложения геодезии, вып. 1 (34), с. 3—10. 4. Виленский В. А. О закономерностях накопления погрешностей в сплошных сетях трилатерации. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 30, с. 41—48. 5. Заводовский А. В. Оценка точности линейных триангуляций. — Науч. зап. Львов. политехн. ин-та. Сер. Геодезия, 1959, № 5, с. 3—33. 6. Костяккая Я. М. К вопросу оценки точности сплошных сетей трилатерации. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1967, вып. 6, с. 25—41. 7. Кочина. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1974, вып. 20, с. 45—50. 8. Кутязов И. А. Накопление погрешностей в рядах с измеренными сторонами. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1957, вып. 2, с. 87—100. 9. Проворов К. Д. Точность элементов сети линейной триангуляции. — Тр. НИИГАНК, т. 11, 1958, с. 3—21.

Статья поступила в редакцию 20. 05. 85

УДК 551.242

А. Г. ЛИСОВЕЦ, А. А. НИКОНОВ, В. А. СКРЫЛЬ
ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ СОВРЕМЕННЫХ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ
ПОБЕРЕЖИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ
ДЛЯ РАЗНЫХ ЭПОХ *

При составлении карт современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) исследователи сталкиваются с рядом трудностей, отражающих сложность процесса ее вертикальных движений.

* Материалы статьи положены в основу доклада «Опыт построения карт современных вертикальных движений земной коры побережий Каспийского моря методом коллокации для разных эпох», сделанного авторами на 10-м Междугеодезическом совещании по изучению современных движений земной коры на геодезических полигонах СССР (Сочи, 26—30 ноября 1984 г.).