

чением сложности рельефа, но не в одинаковой степени по разным направлениям.

В некоторых случаях по разным направлениям автокорреляционная функция имеет различную крутизну, что свидетельствует об анизотропии представленного образца рельефа, наблюдаемой и визуально на рисунках в [3]. На нашем рисунке показаны профили пространственной автокорреляционной функции для указанных категорий рельефа вдоль осей и вдоль диагональных элементов. Они наглядно подтверждают описания $B(\varepsilon, \eta; j, k)$.

Как и в случае одномерного корреляционного анализа [1] пространственный автокорреляционную функцию по различным направлениям можно без особых затруднений аппроксимировать аналитическим выражением, представляющим сложность рельефа.

Таким образом, сложный и подверженный субъективизму процесс классификации рельефа с применением пространственной автокорреляционной функции приобретает корректность и строгость.

Список литературы: 1. Бойко А. В. Методы и средства автоматизации топографических съемок — М.: Недра, 1980. 2. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ степеней. — М.: Мир, 1976. 3. Единые нормы выработки (времени) на геодезические и топографические работы: Камеральные работы. — М.: Недра, 1966. 4. Рудый Р. М. К анализу рельефа местности. — Теодолия, картография и аэрофотосъемка, 1984, вып. 40. 5. Бегер А. Zur Erfassung flacher Gelände durch willkürliche verteilte Höhenpunkte. — Vermessungstechnik, 1972, V. 20, № 7, 6. Sitar F. Interpolatione von Höhenlinien nach dem digitalen Modell der Erde. — Geod. a kartogr. obz., 1972, v. 18, № 10.

Статья поступила в редакцию 08.08.83

УДК 528.8

Р. М. ТАРТАЧИНСКИЙ

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ МОМЕНТОВ МИНИМАЛЬНЫХ РЕФРАКЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ УГЛОВ В СЕТИХ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Повышение точности угловых измерений в государственных сетях триангуляции, полигонометрии и сетях местного значения — одна из основных задач улучшения качества сетей. Этот вопрос комплексный и требует разрешения многих проблем.

Среди атмосферных влияний наиболее существенной погрешностью является боковая рефракция, так как ее влияние имеет систематический характер и может заметно исказить результаты измерения углов. Исследования земной рефракции показали, что боковая рефракция имеет явно выраженный суточный ход, а изменение знака этого хода совпадает с наступлением периода изменения атмосферы. Поэтому определение этого момента в периоды измерений — первая задача борьбы с влиянием рефракции.

В результате выполненных исследований в настоящее время выделены следующие методы определения моментов изотермии: по колебаниям изображений визирных целей; по вертикальному градиенту температуры, определяемому по вертикальной разности температуры у места стояния инструмента; по значению радиационного баланса, измеряемого на высоте инструмента; по отклонению измеренного зенитного расстояния от его теоретического значения.

Каждый из указанных методов, проверенный экспериментально в различных климатических и физико-географических районах страны, дает положительные результаты.

Зная момент наступления изотермии, можно так строить программу наблюдений углов, чтобы в значительной степени ослабить влияние рефракции. Первой такой программой является программа симметричных наблюдений углов, относительно момента «нулевых рефракций», предложенная А. Л. Островским [3] и экспериментально проверенная [4, 5]. Результаты эксперимента положительные. Вторая — программа регулирования измеренных значений углов на момент нулевых рефракций, предложенная Н. В. Яковлевым [7].

Как в первой, так и во второй программе моменты «нулевых рефракций» и моменты наступления изотермии совпадают; моменты изотермии определяются надежно по одному из выпущенных методов; измерение рефракции подчиняется линейному закону.

При этих условиях как от первой, так и от второй программы можно ожидать почти полного исключения влияния рефракции. На самом деле определение изотермии по колебаниям визирных целей в значительной степени носит субъективный характер из-за целого ряда причин: опытность наблюдателя, неодновременность затухания колебаний по всем направлениям. Определение времени наступления изотермии по вертикальному градиенту температуры и радиационному балансу отображает реальную картину только в локальной области — у места стояния инструмента и не дает полного представления о стратификации атмосферы на всем протяжении видирного луча. Этот недостаток устранен в методе определения моментов нутевых рефракций, определяемых по отклонению измеренных зенитных расстояний от их теоретических значений [6]. Однако данный метод требует измерения зенитного расстояния и, что самое главное, знания отметок наблюдаемых пунктов.

При азимутальных определениях, измерении углов в ходах полигонометрии и специальных сетях триангуляции, где отмечены пункты можно получить заранее, эти недостатки не снижают достоинств метода.

Исследования по повышению точности тригонометрического нивелирования [1], выполняемого в периоды видимости, позволяют без дополнительных затрат определять моменты «минимальных искажений» как горизонтальных углов, так и измеряемых зенитных расстояний.

Сущность метода состоит в следующем. Пусть на каком-то пункте A в течение видимости поочередно производились измерения горизонтального угла между направлениями B и C и зенитных расстояний по направлениям AB и AC . В итоге получено m значений горизонтального угла и n значений зенитных расстояний по каждому направлению. Наиболее вероятными значениями горизонтального угла и зенитных расстояний будут те, которые выполнены в моменты минимальных рефракционных искажений.

Коэффициент вертикальной рефракции χ выражается зависимостью [2]

$$\chi = 668,7 \frac{B}{T^2} (0,0342 + a + \gamma) - 14,8 \frac{e}{T^2}, \quad (1)$$

или

$$\chi = 2R^2 z / Sp'', \quad (2)$$

где B — атмосферное давление; T — абсолютная температура; e — упругость водяных паров; a — нормальный градиент температуры; S — длина линии визирования; R — средний радиус Земли; δz — угол частной вертикальной рефракции.

На основании (1) и (2) можно записать

$$\frac{61,7748}{S} \delta z'' = 668,7 \frac{B}{T^2} (0,0342 + a + \gamma) - 14,8 \frac{e}{T^2}. \quad (3)$$

По многочисленным исследованиям последний член выражения (3) мал и для практических целей не имеет существенного значения. Решая (3) относительно δz , получаем

$$z_t = z_n + \delta z,$$

или

$$z_t = z_n + \delta_B + \delta_T, \quad (5)$$

где δ_B — составляющая вертикальной рефракции, обусловленная барическим градиентом; δ_T — составляющая вертикальной рефракции, обусловленная вертикальным градиентом температуры воздуха.

При этом

$$\delta_B = 0,370 \frac{BS}{T^2}, \quad \delta_T = 10,82 \frac{BS}{T^2} (a + \gamma). \quad (6)$$

Разность двух зенитных расстояний будет

$$z_{t_2} - z_{t_1} = z_{n_2} - z_{n_1} + \delta_{B_2} - \delta_{B_1} + \delta_{T_2} - \delta_{T_1}.$$

$$\Delta z_{tr} = \Delta z_n + 0,370 \left(\frac{B_2 S_2}{T_2^2} - \frac{B_1 S_1}{T_1^2} \right) - 10,82 \cdot 0,0065 \left(\frac{B_2 S_2}{T_2^2} - \frac{B_1 S_1}{T_1^2} \right) + \\ + 10,82 \left(\frac{B_2 S_2}{T_2^2} T_2 - \frac{B_1 S_1}{T_1^2} T_1 \right). \quad (7)$$

В периоды спокойных изображений принимаем

$$B_2 \approx B_1 = B, \quad T_2 \approx T_1 = T, \quad \gamma_2 \approx \gamma_1 = 0. \quad (8)$$

Тогда

$$\Delta z_t = \Delta z_n + 0,370 \frac{B}{T^2} (S_2 - S_1) - 0,070 \frac{B}{T^2} (S_2 - S_1). \quad (9)$$

Полагая $B = 750$ мм и $T = 290^\circ$, запишем

$$\Delta z_{tr} = \Delta z_n + 0,002 (S_2 - S_1), \quad (10)$$

т. е. разность двух измеренных зенитных расстояний в период спокойных изображений стремится к разности теоретических значений этих зенитных расстояний при $S_2 \rightarrow S_1$.

Второй член формулы (10) имеет ощутимое значение при различиях расстояний около 1000 м, что практически не имеет места в малых сетях триангуляции и в большинстве случаев будет выявляться в больших одноклассных сетях.

Из этой же формулы следует, что минимальные рефракционные искажения наблюдаются тогда, когда разность двух измеренных зенитных расстояний минимальна. Измеренные в этот период горизонтальные углы и зенитные расстояния не содержат в себе заметных рефракционных искажений.

Для проверки изложенного использованы результаты одностороннего геодезического нивелирования при малых расстояниях между пунктами, приведенные в [2]. По этим материалам определены разности между измеренными зенитными расстояниями (табл. 1).

Анализируя данные табл. 1, замечаем, что практически по всем направлениям минимальные разности измеренных зенитных расстояний наступают одновременно. Утром они наступают в конце хорошей видимости, а вечером — в начале хорошей видимости. Различия между минимальными разностями и смежными довольно определимы и происходят очень быстро. Минимальные утренние и вечерние значения разностей хорошо согласуются.

Аналогично были вычислены разности всех других зенитных расстояний за 28 июня в остальные дни измерений. Используя теоретические зенитные расстояния по каждому направлению, сравним минимальные средние разности зенитных расстояний (см. табл. 1) с вычисленными теоретическими разностями. Результаты этих вычислений приведены в табл. 2, из которой следует, что сравниваемые разности очень хорошо согласуются между собой. Отметим, что точность измерения зенитных расстояний по данным

Разность измеренных зенитных расстояний
(ЦНИИГАиК, 28 июня 1951 г.)

Таблица 1

Время наблюдения	Код.	4h-K	4h+K	3h-K	3h+K	2h-K	2h+K	1h-K	1h+K
5:07	4,5	49°2'	16°3"	7°4'	-18°1"	9°2"	-3°4"	27°9"	42°2"
5:44	4,5	47,5	15,7	7,5	-18,2	4,5	-4,9	17,9	32,5
6:16	4,5	40,0	8,6	2,5	-23,3	0,2	-7,7	14,7	29,6
6:48	4,5	41,7	10,0	-0,2	-23,2	-5,5	-11,8	9,5	22,3
8:46	3	32,3	2,7	-7,0	-30,2	-11,1	-13,1	1,7	13,6
9:20	2	38,4	4,8	-2,7	-25,8	-5,8	-7,6	5,3	20,9
10:30	2	37,3	7,7	-2,4	-24,5	-7,6	-7,3	1,6	16,7
10:58	2	34,1	3,7	-2,9	-26,8	-8,5	-9,7	-2,1	13,8
11:22	2	35,5	6,7	-8	-22,5	-7,8	-8,9	-0,1	16,3
13:03	2	35,1	3,6	-1,9	-28,1	-7,2	-10,5	-1,2	14,9
13:33	2	36,0	5,2	-4,1	-27,8	-11,9	-11,3	-1,6	12,7
14:01	2	37,5	8,0	0,5	-24,5	-6,2	-8,3	-1,8	14,1
15:34	3	38,7	3,6	-0,9	-24,4	-5,8	-9,1	2,6	16,5
15:58	3	38,5	0,3	-23,0	-3,7	-7,2	5,7	18,5	
16:20	3	36,1	3,0	-29,0	-8,9	-11,4	1,7	15,5	
17:42	4	39,8	6,3	-0,7	-26,2	-5,8	-11,9	4,5	18,4
18:04	4,5	38,2	5,8	1,0	-25,2	-1,2	-8,9	9,8	21,1
18:25	4,5	38,3	10,1	0,3	-25,8	-4,2	-12,6	8,4	20,5
19:46	4,5	45,3	10,4	4,9	-22,2	2,1	-8,4	18,7	29,5
20:08	4,5	45,7	10,6	-4,5	-29,7	-0,1	-11,6	21,7	32,1
20:36	3,0	58,5	20,7	-21,6	9,3	-10,6	20,8	53,7	

Сопоставление разностей теоретических и измеренных зенитных расстояний

Таблица 2

[2] находится в пределах 1,4—2,5". Преобладание отрицательного знака в разностях свидетельствует об остаточном значении составляющей вертикальную рефракцию, обусловленной барическим градиентом. В табл. 2 нанесены значения разностей, образованные с направлением 2 h, хотя, например, по разностям направлений K — 2 h и для других дат имел при теоретической разности 38,4.

Рассмотрим теперь возможность использования временных разностей минимальных зенитных расстояний для определения момента минимальных иска- жений горизонтальных углов. С этой целью воспользуемся экспериментальными данными [6]. Благодаря наличию в них теоретических зенитных расстояний, измеренных зенитных горизонтальных углов и времени измерения нами найдены Δz_T , Δz_0 а по ним вычислены моменты минимальных рефракционных искажений горизонтальных углов. В соответствии с этим утреннее время наступления минимальных искажений: 6,56, 7,16, 7,17, 7,08; вечернее — 19,28, 18,52, 19,34. На основании приведенных данных все измеренные горизонтальные углы разделены на три группы, найдены средние значения углов в каждой группе и выполнена оценка точности измерения. Результаты измерений приведены в табл. 3.

Ход углов от изверсии к нормальному расположению указывает на наличие в измерениях боковой рефракции, а среднее значение из β_1 и β_2 почти точно соответствует значению углов, измеренных при минимальных рефракционных искажениях.

Таким образом, предложенный метод позволяет без дополнительных затрат определять в периоды видимости моменты минимальных искажений горизонтальных углов и зенитных расстояний, а по результатам измерений в эти периоды получать наиболее вероятные угловые данные или строить программу измерений относительно этих моментов. Измерение зенитных расстояний в первые спокойных изображений, как это предлагается в [1], значительно повышает качество тригонометрического нивелирования, а использование тех же измеренных зенитных расстояний для определения моментов минимальных искажений позволит повысить качество угловых измерений в сетях триангуляции.

Список литературы: 1. Джудин Б. М. К вопросу о выгоднейшем времени измерения зенитных расстояний в геодезическом нивелировании. — Теодезия, картография и аэрофотосъемка, 1965, вып. 1. 2. Изогов А. А., Пеллинер Л. П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — Тр. ЦНИИГАиК, 1955, вып. 102. 3. Островский А. Л. О сутуточном ходе угловых невязок треугольников, вынужденном боковой рефракцией. — Научн. зап.

ЛПИ. Сер. геодезическая, 1962, вып. 82, № 7. 4. *Острожский А. Л.* К вопросу о программах угловых измерений при светодиодной и радиодальномерной полигонометрии. — Инженерная геодезия, 1964, № 1, 5. *Острожский А. Л., Таргачинский Р. М.* Опыт применения программы угловых измерений, симметричного относительно момента изотропии воздушных масс, в южном степном районе. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1965, вып. 3. 6. *Острожский А. Л.* Геодезический метод построения симметричной программы наблюдения горизонтальных углов. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1967, вып. 6. 7. *Яковлев Н. В.* К теории и практике учета ступенного хода рефракции при угловых измерениях и азимутальных определениях в геодезических сетях. — Геодезия и картография, 1967, № 8.

Статья поступила в редакцию 14. 12. 63

УДК 598.23

А. Е. ФИЛИППОВ

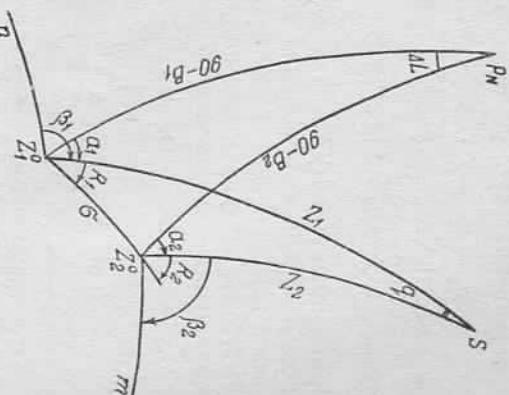
О ТОЧНОЙ ПЕРЕДАЧЕ ДИРЕКЦИОННОГО УГЛА И УКЛОНЕНИИ ОТВЕСА ПО СИНХРОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ СВЕТИЛ В ДВУХ ПУНКТАХ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Для точной передачи дирекционного угла ($m_\alpha < 0,5''$) и определения приращений уклона отвеса предложен [1—3] способ синхронных наблюдений светил в двух пунктах земной поверхности, позволяющий, не зная точные геодезические координаты пунктов, получать приращения истинных уклона отвеса между этими пунктами. Это, однако, означает возможность (не существующую в действительности) передачи геодезических координат по результатам одних лишь угловых измерений (без использования измерений линейных).

Чтобы устранить указанное противоречие, приведем вывод уравнений способа, применив в основном обозначения [1—3], но отказываясь от каких-либо иных геометрических построений, кроме построений на вспомогательной сфере. Линейные элементы и правки, связанные с переходом на поверхность эллипсоида и на плоскость проекции.

Пусть в пункте P_1 земной поверхности с известными геодезическими координатами B_1 , L_1 и составляющими ξ_1 , η_1 относительного склонения отвеса известен дирекционный угол α_1 направления на смежный пункт N . Необходимо определить дирекционный угол α_2 направления из пункта P_2 на смежный пункт M по синхронным измерениям на пунктах P_1 и P_2 зенитных расстояний какой-либо звезды и горизонтальных углов между направлениями на соответствующие смежные пункты и этой звездой. Предполагаем известными приближенные значения (с точностью до $0,1''$) геодезических координат пункта P_2 . Считаем также, что разности геодезических координат точек P_2 и P_1 не превышают $1,5^\circ$, такого же порядка

Построения на вспомогательной сфере:
 Z_1^0 и Z_2^0 — геодезические зениты точек P_1 и P_2 ; P_N — северный полюс мира; S — положение наблюдавшей звезды; m и n — точки пересечения со сферой прямых, параллельных прямым P_1M и P_2N соответственно; a_1 , a_2 , Z_1 , Z_2 — геодезические азимуты и зенитные расстояния; β_1 , β_2 — углы между нормальными плоскостями направлений на пункты N и M и на звезду.



P_2 ; δ_i^H , δ_i^G — соответственно поправки за кривизну изображения геодезических линий на плоскости, за высоту визирных целей и за переход от нормальных сечений к геодезическим линиям. Величины Σ_1 и Σ_2 можно считать известными.

На основании (1) имеем

$$\alpha_2 = \alpha_1 + (a_{2m} - a_{1n}) - (\gamma_2 - \gamma_1) + \Sigma_2 - \Sigma_1. \quad (2)$$

Из рисунка следует

$$a_{2m} - a_{1n} = (a_2 - a_1) + \beta_1 + \beta_2. \quad (3)$$

Вводя обозначения $\Delta_{12} = R_2 - R_1$, $\gamma_{12} = (a_2 + R_2) - (a_1 + R_1) = (a_2 - a_1) + \Delta_{12}$ и принимая во внимание (3), приведем (2) к виду

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \gamma_{12} - (\gamma_2 - \gamma_1) - \Delta_{12} + \beta_1 + \beta_2 + \Sigma_2 - \Sigma_1. \quad (4)$$

Пусть φ_1 , λ_1 , φ_2 , λ_2 — астрономические координаты пунктов P_1 и P_2 , z_1 , z_2 , z_{1n} , z_{2m} — астрономические зенитные расстояния звезды и пунктов N , M . Сумма $\beta_1' + \beta_2'$ углов между нормальными плоскостями связана с суммой $\beta_1 + \beta_2$ горизонтальных углов соотношением

$$\beta_1 + \beta_2 = \beta_1' + \beta_2' + (\gamma_1 \cos \alpha_1 - \xi_1 \sin \alpha_1) \operatorname{ctg} z_1 - (\gamma_2 \cos \alpha_2 - \xi_2 \sin \alpha_2) \operatorname{ctg} z_2 + \Sigma_2' - \Sigma_1'. \quad (5)$$