

Введение поправки за рефракцию улучшает результаты измерений. То, что значения поправки не полностью компенсируют искажения углов, можно объяснить неодновременностью угловых и температурных измерений и наличием сильных локальных полей. Таким образом, выполненные исследования показывают, что на результаты угловых измерений влияют как локальные температурные поля, так и общее температурное поле города. При этом суммарное влияние этих полей на измеряемые направления может заметно ухудшать конечные результаты.

1. Эюзиш А. С. Характер температурного поля в городе и явление аномальной боковой рефракции // Изв. АН СССР. Сер. геофизическая. 1959. № 2. С. 326.
 2. Крайцер П. А. Климат города. М., 1958. 3. Островский А. П. Исследования по боковой рефракции в полигонометрии. Львов, 1958. 4. Тартачинский Р. М. Температурное поле города и его влияние на результаты угловых измерений в городской триангуляции // Геодезия, картография и аэрофотоосъемка. 1974. Вып. 19. С. 93. 5. Тартачинский Р. М. Исследования боковой рефракции в экспериментальной городской сети триангуляции // Геодезия, картография и аэрофотоосъемка. 1975. Вып. 22. С. 69. 6. Тартачинский Р. М. Характер влияния боковой рефракции в городской сети триангуляции // Геодезия, картография и аэрофотоосъемка, 1981. Вып. 34. С. 81. 7. Травозо И. С. Исследование горизонтальной рефракции и городской полигонометрии // Геодезия и картография. 1984. № 1. С. 20. 8. Хижакова Л. С. К вопросу влияния рефракции в городской триангуляции // Наука. зап. Львов. политех. ин-та. Сер. геодезическая. 1961. № 6. С. 200. 9. Яковлев Н. В. Об учете климатических особенностей города при угловых измерениях в городской триангуляции I класса // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотоосъемка. 1960. № 6. С. 15.

Статья поступила в редакцию 20. 01. 86

УДК 528.28

Л. С. ХИЖАК

О ВОЗМОЖНОСТИ ФИКСАЦИИ НАПРАВЛЕНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЗЕНИТНЫХ РАССТОЯНИИ

Рассмотрим теоретические основы метода, позволяющего фиксировать в приземном слое воздуха истинное значение направления на визирную цель по результатам измерений давления на одной высоте, температуры — на двух высотах и двух зенитных расстояний, соответствующих различным стратификациям приземного слоя воздуха. Задача решается для равнинной местности с однородной подстилающей поверхностью и малых расстояний. Уравнение световой кривой для этих условий можно представить рядом Тейлора

$$z = z_0 x + \frac{z_0'}{2} x^2 + \dots, \quad (1)$$

где z_0, z_0' — производные от z по x в начале координат, причем $z_0' = \text{tg } \alpha$; α — угол наклона. Зависимость (1) является решением уравнения Эйлера вида

$$nz'' = n'z(1+z'^2), \quad (2)$$

где n — показатель преломления как функция z ; $n'z$ — производная от n по z .

Пусть теперь при двух состояниях атмосферы измерены углы наклона на одну и ту же визирную цель, давление и температура на разных высотах в моменты фиксации зенитных расстояний. Обозначим результаты измерений при двух состояниях атмосферы соответственно через $\alpha_1, \alpha_2, R_{01}, R_{02}, T_{z_1}, T_{z_2}, \dots, T'_{z_1}, T'_{z_2}, \dots$. Тогда уравнение (1) для первого состояния атмосферы перепишем в виде

$$z_1 = x \text{tg } \alpha_1 + \frac{z_{01}'}{2!} x^2 + \dots, \quad (3)$$

а для второго состояния

$$z_2 = x \text{tg } \alpha_2 + \frac{z_{02}'}{2!} x^2 + \dots \quad (4)$$

Так как кривые пересекаются в точке, из которой приходит излучение, то можно написать

$$x \text{tg } \alpha_1 + \frac{z_{01}'}{2!} x^2 = x \text{tg } \alpha_2 + \frac{z_{02}'}{2!} x^2,$$

откуда получим абсциссы точки пересечения кривых

$$x_1 = 0,$$

$$x_2 = -2 \frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_2}{z_{01}' - z_{02}'}, \quad (5)$$

а выражения для ординат получим, если подставим значения абсциссы (5) в (3) и (4):

$$z_1 = -2 \left(\frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_2}{z_{01}' - z_{02}'} \right) \text{tg } \alpha_1 - 2 \left(\frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_2}{z_{01}' - z_{02}'} \right)^2 z_{01}', \quad (6)$$

$$z_2 = -2 \left(\frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_2}{z_{01}' - z_{02}'} \right) \text{tg } \alpha_2 - 2 \left(\frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_2}{z_{01}' - z_{02}'} \right)^2 z_{02}'. \quad (7)$$

Истинное направление на точку визирования получим из следующего выражения:

$$\text{tg } \alpha = z_1/x_2 = z_2/x_2; \quad (8)$$

$$\text{tg } \alpha = \text{tg } \alpha_1 - z_{01}' \frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_2}{z_{01}' - z_{02}'}; \quad (9)$$

$$\text{tg } \alpha = \text{tg } \alpha_2 - z_{02}' \frac{\text{tg } \alpha_1 - \text{tg } \alpha_2}{z_{01}' - z_{02}'}. \quad (10)$$

Или учитывая, что углы α_1 и α_2 мало отличаются между собой (на поправку за рефракцию), можно записать

$$\alpha = \alpha_1 + \Delta\alpha_1, \quad \alpha_2 = \alpha_1 + \delta\alpha_1.$$

Разлагая $\text{tg } \alpha$ и $\text{tg } \alpha_2$ в ряд Тейлора, ограничиваясь первыми членами разложения для поправки $\Delta\alpha_1$, получаем формулу

$$\Delta\alpha_1 = z_{01}'' \frac{\delta\alpha_1}{z_{01}'' - z_{02}''}. \quad (11)$$

Аналогично, полагая $\alpha = \alpha_2 + \Delta\alpha_2$ и $\alpha_1 = \alpha_2 + \delta\alpha_2$, имеем

$$\Delta\alpha_2 = -z_{02}'' \frac{\delta\alpha_2}{z_{01}'' - z_{02}''}. \quad (12)$$

Очевидно, что здесь $\delta\alpha_1 = -\delta\alpha_2$.

Таким образом, формулы (11) и (12) решают задачу об определении поправки за рефракцию, если известны разность измеренных углов наклона и вторые производные в начале координат, соответствующие первому и второму состояниям приземного слоя воздуха. При решении задачи мы оборвали ряд (1) на втором члене. Для малых расстояний это правомерно, так как остальные члены ряда пренебрежимо малы.

Для нахождения производных z_{01}'' и z_{02}'' воспользуемся уравнением (2), откуда

$$z_{01}'' = \frac{n_{01}'}{n_{01}} (1 + \text{tg}^2 \alpha_1); \quad z_{02}'' = \frac{n_{02}'}{n_{02}} (1 + \text{tg}^2 \alpha_2). \quad (13)$$

Здесь n_{01}' , n_{02}' — первые производные по z от показателя преломления в начале координат, соответствующие первому и второму состояниям приземного слоя воздуха. Необходимо отметить, что зависимость (2) справедлива только для того случая, когда n от x не зависит, т. е. когда n является одинаковой функцией от z во всем интервале x прохождения визирного луча. Для определения n_{01}' , n_{02}' , n_{01}'' и n_{02}'' необходимо знать функциональную зависимость n от z . С целью отыскания этой зависимости опишем состояние приземного слоя воздуха следующей системой уравнений:

$$p = \mu P/RT, \quad gR = -dP/dz, \quad (14)$$

которая с высокой степенью точности характеризует приземный слой воздуха. Здесь ρ — плотность воздуха; R — газовая постоянная; μ — масса моля; g — ускорение силы тяжести.

Будем находить решение этой системы в виде ряда

$$P = P_0 + p_1 z + p_2 z^2 + \dots \quad (15)$$

Для решения задачи (14), (15) необходимо знать функциональную зависимость T от z . Для ее отыскания представим эту зависимость также в виде степенного ряда, т. е.

$$T = T_0 + t_1 z + t_2 z^2 + \dots \quad (16)$$

в котором коэффициенты t_1 , t_2 ... можно определить из измерений

температуры на различных высотах. Так, по измерениям температуры на двух высотах можно вычислить коэффициент по формуле

$$t_1 = \frac{T_{z_2} - T_{z_1}}{z_2 - z_1}, \quad (17)$$

т. е. в этом случае предполагается, что T линейно меняется с высотой; t_1 — градиент температуры в интервале $[z_1, z_2]$. В случае измерения температуры на трех высотах можно определить коэффициенты t_1 и t_2 :

$$t_1 = \frac{\Delta t_1 - t_2 \Delta z_1^2}{\Delta z_1}, \quad t_2 = \frac{\Delta t_2 \Delta z_1 - \Delta t_1 \Delta z_2}{\Delta z_1 \Delta z_2^2 - \Delta z_2 \Delta z_1^2}, \quad (18)$$

где

$$\Delta t_1 = T_{z_2} - T_{z_1}; \quad \Delta t_2 = T_{z_3} - T_{z_1}; \quad (19)$$

$$\Delta z_1 = z_2 - z_1; \quad \Delta z_2 = z_3 - z_1.$$

Учитывая (18) для коэффициентов p_1 , p_2 и p_3 , при решении системы (14) найдем следующие выражения:

$$p_1 = -\frac{P_0 g R}{T_0 R},$$

$$p_2 = \frac{-g \frac{\mu}{R} p_1 - p_1 t_1}{2T_0},$$

$$p_3 = \frac{-g \frac{\mu}{R} p_2 - p_1 t_2 - 2p_2 t_1}{3T_0},$$

Учитывая формулу Дала-Гадстона

$$n = 1 + \beta\rho, \quad (21)$$

для показателя преломления получаем выражение

$$n = 1 + \frac{\beta\mu}{R} \left(\frac{P_0 + p_1 z + p_2 z^2 + \dots}{T_0 + t_1 z + t_2 z^2 + \dots} \right), \quad (22)$$

а для градиента показателя преломления по z — зависимость

$$n_z' = \frac{\beta\mu}{R} \left[\frac{(p_1 + 2p_2 z + \dots)}{(T_0 + t_1 z + t_2 z^2 + \dots)} - \frac{(t_1 + 2t_2 z + \dots)(P_0 + p_1 z + p_2 z^2 + \dots)}{(T_0 + t_1 z + t_2 z^2 + \dots)^2} \right]. \quad (23)$$

Показатель преломления и его градиент в начале координат, т. е. когда $z=0$, определяем из следующих формул:

$$n_0 = 1 + \frac{\beta\mu P_0}{RT_0},$$

$$n'_0 = \frac{R^2}{T^2 R} (\rho_1 T_0 - t_1 P_0). \quad (24)$$

Таким образом, формулы (11) — (13), (17), (20) и (24) являются решением задачи определения истинного значения направления на визирную цель по измеренным значениям метеозащитных и зенитных расстояний при двух состояниях приземного слоя воздуха. Как видно из этих формул, определение поправок за рефракцию не требует знания расстояния от точки наблюдения до визирной цели.

Заметим, что если световую кривую аппроксимировать двумя членами ряда, то для решения задачи по данной методике достаточно измерить температуру на двух высотах и вычислить только коэффициенты t_1 и ρ_1 , причем результаты измерений должны быть репрезентативными, т. е. соответствовать моменту определения зенитных расстояний, и характеризовать путь прохождения визирного луча.

Для проверки указанной методики мы использовали экспериментальный материал измерений метеорологических элементов и зенитных расстояний над железной дорогой. В этом эксперименте одновременно измеряли давление и температуру на двух высотах (10 и 60 см над полотном железной дороги у инструмента) и зенитные расстояния на визирную цель, находящуюся в 516 м от инструмента. Наблюдения проводили в светлое время суток. Визирный луч проходил в среднем на высоте 30 см над полотном железной дороги. На такой высоте в дневное время суток очень быстро меняются как температура, так и зенитные расстояния, и поэтому измерения температуры психрометрами, которые имеют инерционность около 3 мин, не соответствуют условиям прохождения визирного луча. Поэтому для вычисления поправок за рефракцию мы пользовались не измерениями, полученными из одного приема, а средними значениями. Для этого все измерения разбили на четыре группы: в первую группу включали результаты измерений метеозащитных и зенитных расстояний, для которых разность температур между высотами 10 и 60 см лежали в пределах $0,3 \dots 0,0^\circ\text{C}$, для второй, третьей и четвертой соответственно — в пределах $0,0 \dots 0,3$; $+0,3 \dots +0,6$; $0,4^\circ\text{C}$. В первую, вторую и третью группы вошло по 16 приемов, а в четвертую 15. Для каждой из групп образовывались средние значения вертикальной разности температур, давления и углов наклона. Эти данные и результаты вычисления вторых производных приведены в табл. 1.

В табл. 1 приняты следующие обозначения: z_0 и z_1 — высоты измерения температуры относительно начала координат (начала световой кривой), м; Δz — разность высот; ΔT — разность температур между этими высотами, К; t_1 — градиент температуры; T'_0 — температура в начале координат ($T'_0 = T_0 + t_1 \Delta z$); P_0 — давление в начале координат, Па; ρ_1 — градиент давления, Па/м; n'_0 — коэффициент преломления в начале координат; n''_0 — градиент поординат, $1/\text{м}^2$; α' — измеренный угол наклона, ...

По приведенным в табл. 1 значениям z_0 и α' вычислены истинные значения углов наклона и поправки за рефракцию для каждой пары состояний атмосферы (I—II, I—III, I—IV, II—III, II—IV, III—IV). Таким образом, получено шесть значений истинного угла наклона. Эти результаты вычислений приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, все пары кривых, соответствующих различным состояниям атмосферы, кроме последней (III—IV), дают хорошо согласованные значения истинного угла наклона α и по-

Вычисление вторых производных

Таблица 1

Показатели	Группы			
	I	II	III	IV
z_0	— 0,188	— 0,188	— 0,188	— 0,188
z_1	+ 0,312	+ 0,312	+ 0,312	+ 0,312
Δz	+ 0,500	+ 0,500	+ 0,500	+ 0,500
ΔT	+ 0,120	— 0,188	— 0,463	— 0,537
t_1	+ 0,240	— 0,376	— 0,926	— 1,074
T'_0	285,84	288,52	290,58	291,38
P_0	99958	99614	99828	100220
ρ_1	— 11,951	+ 11,800	— 11,741	— 11,755
n'_0	— 0,3354 · 10 ⁻⁶	+ 0,4091 · 10 ⁻⁶	+ 1,0544 · 10 ⁻⁶	+ 1,2215 · 10 ⁻⁶
n''_0	1,0003498	1,0003454	1,0003436	1,0003441
α'	— 0,3354	+ 0,4091	+ 1,0544	+ 1,2275
α	182,50"	166,59"	151,23"	148,47"

Примечание: $n = 28,966$ кг/кмоль; $R = 8,31436 \cdot 10^8$ Дж/град · кмоль; $g = 9,81$ м/с; $\rho = 0,000292$ м³/кг.

Вычисление истинных направлений

Таблица 2

Показатель	Пары состояний атмосферы					
	I—II	I—III	I—IV	II—III	II—IV	III—IV
$10^{-6} z_0$	— 0,3355	— 0,3335	— 0,3355	+ 0,4091	+ 0,4091	+ 1,0544
$10^{-6} z_1$	+ 0,4091	+ 1,0544	+ 1,2275	+ 1,0544	+ 1,2275	+ 1,2275
$10^{-6} \Delta z$	— 0,7446	— 1,3899	— 1,5630	— 0,6453	— 0,8184	— 0,1731
α_1	182,50	182,50	182,50	166,59	166,59	151,23
α_2	166,59	151,23	148,47	151,23	148,47	148,47
α_3	+ 15,91	— 31,27	— 34,03	— 15,36	— 18,12	— 2,74
α_4	— 7,17	— 7,54	— 7,30	+ 9,74	+ 9,06	+ 16,81
α_5	175,33	174,96	175,20	176,33	175,65	168,04
α_6	+ 8,74	+ 23,72	+ 26,72	+ 25,10	+ 27,18	+ 19,57
α_7	175,33	174,95	175,19	176,33	175,65	168,04

правок за рефракцию D_{a_1} и D_{a_2} . Шестая пара явно не согласуется с результатами остальных, так как разность углов наклона составляет всего 2, 7", что практически близко к случаю, когда кривые совпадают и тогда определить этим методом рефракцию невозможно. Вопрос корректности задачи требует дальнейших исследований.

Приведенные формулы и методика определения истинного направления по результатам измерения метеоземлементов и зенитных расстояний при различных состояниях атмосферы справедливы только для однородных, равнинных, поверхностей при малых расстояниях. Особенно внимание нужно уделять измерениям температуры, которые должны строго соответствовать измерениям зенитных расстояний.

Статья поступила в редакцию 28. 01. 86

УДК 528.32+666.41

Т. Г. ШЕВЧЕНКО, С. Г. ХРОПОТ, С. П. ВЕРГЕЛЕС ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОЛОЖЕНИЯ РОЛИКОВЫХ ОПОР ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ

Геодезический контроль прямолнейности рабочих осей агрегатов непрерывного производства типа спекальных или обжиговых печей осуществляется с помощью специальных измерительных устройств. Информацию о значенных отклонений от прямолнейности получают, как правило, координатным путем. При этом возникает необходимость определения размеров деталей опорных узлов подбандажных зазоров, диаметров бандажей и роликов, взаимного расположения осей опорных роликов и т. п. [2, 6]. Наибольшие трудности возникают при определении взаимного расположения опорных роликов, поскольку измерения ведутся обычно в стесненных во времени и пространстве условиях. Применять контактные средства измерений сложно из-за необходимости вскрывать крышки подшипников опорных роликов [4, 5]. Известные бесконтактные устройства для измерения взаимного расположения осей опорных роликов [1] наряду с преимуществами имеют и недостатки. Последние связаны, например, с трудностью определения вертикальной и горизонтальной проекции расстояния между осями.

Предлагаемый метод и устройство для геодезического контроля положения роликовых опор вращающихся печей, на наш взгляд, более эффективны. Метод заключается в определении отклонений от прямолнейности рабочих осей вращающейся печи посредством сравнения действительных и расчетных координат точек оси относительно опорной прямой, закрепляемой на фундаментах печи. Необходимые для этого размеры — диаметры опорных роликов и расстояния между их осями находят бесконтактным способом.

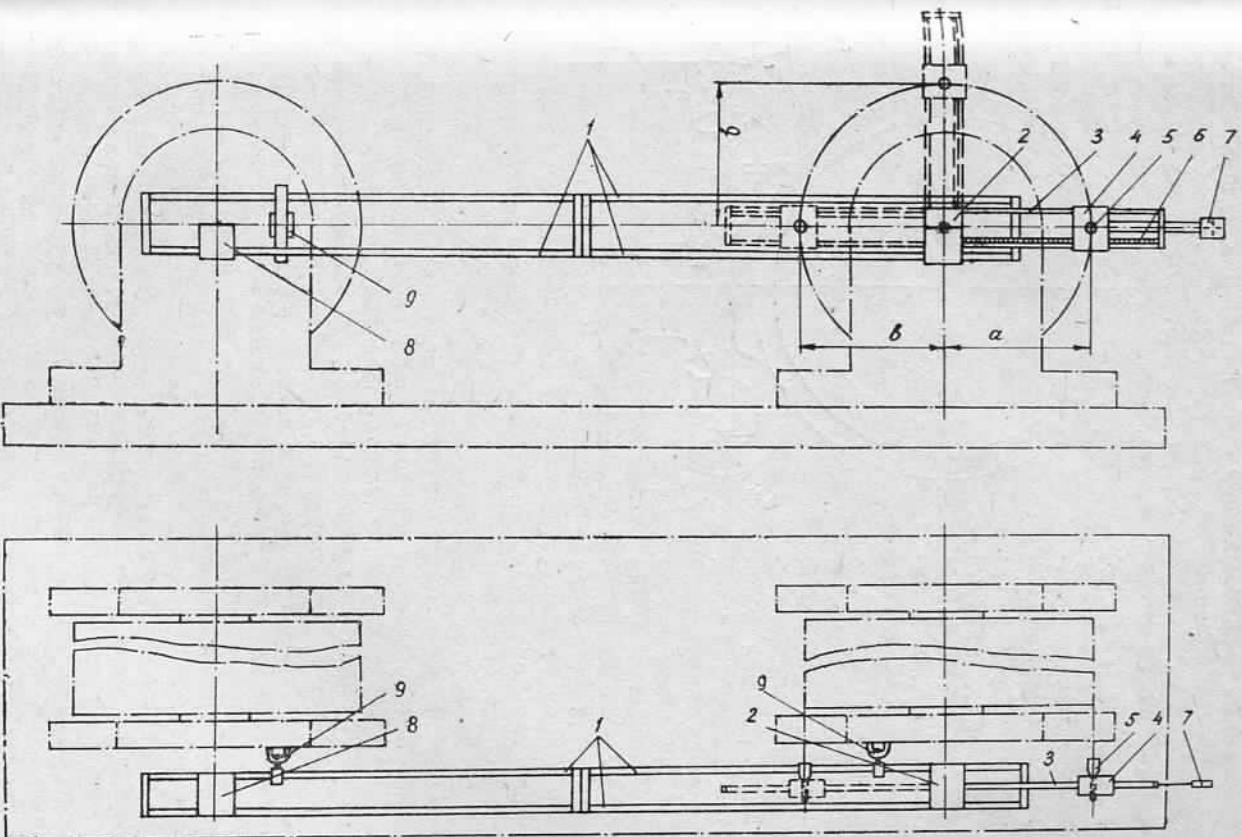


Рис. 1. Схема устройства для измерения взаимного положения осей опорных роликов.