

ИССЛЕДОВАНИЕ СУТОЧНОГО ХОДА ВЕРТИКАЛЬНОГО ГРАДИЕНТА ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ВОЗДУХА

В нижнем слое воздуха, где преимущественно выполняются геодезические измерения, вследствие конвективных и турбулентных процессов образуется неустойчивая структура атмосферы.

В метеорологии одним из основных факторов, определяющих физическое состояние атмосферы, принято считать стратификацию. Как показали исследования [2], при ясном небе наблюдается устойчивая стратификация воздуха ночью и неустойчивая — днем.

Неоднородность атмосферы обусловлена нестабильностью метеорологических параметров, изменяющих плотность и параллельность ее слоев, что приводит к искажениям светового луча на пути его распространения в земной атмосфере и, как следствие, к рефракционным погрешностям измерений.

Основным параметром, характеризующим преломляющие свойства атмосферы для распространяющихся электромагнитных волн (ЭМВ), является показатель преломления воздуха n . Для удобства расчетов n принято выражать через индекс рефракции, получаемый из выражения

$$(n-1) = N \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

где N — отвлеченная величина, дополняющая n в четвертом знаке после запятой.

С целью изучения характера изменения показателя преломления в наиболее активном слое воздуха мы исследовали суточный ход вертикального градиента $\partial N/\partial h$ по измерениям метеорологических параметров: температуры t , влажности e и давления P , выполненным на одном из пунктов эталонного геодезического полигона в Карпатах [4].

Метеопараметры t и e измерялись психометрами Асмана на двух уровнях (1,4 м и 5 м), давление — на нижнем уровне барометром-анероидом. По результатам часовых серий измерений, выполненных в период с 20.06 по 28.06.73 г., и формуле [1]

$$N = 104,85 \frac{P}{T} \left(1 - 0,132 \frac{e}{P} \right) \quad (2)$$

вычислены индексы рефракции для двух высот каждого часа измерений метеозамеров.

Учитывая незначительность влияния влажности на преломляемость ЭМВ светового диапазона, при вычислении N в формуле (2) принималось усредненное для данного периода значение влажности $e = 10$ мм рт. ст.

Анализ показал, что такое упрощение не вызывает в вычислениях N погрешностей, превышающих 0,3N. При исследовании в

обработку включены результаты 142 измерений температуры на двух высотах.

Градиенты индексов рефракции g_n получены из соотношения

$$g_n = \frac{N_n - N_{n'}}{h_n - h_{n'}} \quad (3)$$

Здесь $h_n, h_{n'}$ — высота подвеса верхнего и нижнего психрометров. Разность $h_n - h_{n'}$ составляла 3,6 м.

Значения вертикальных градиентов
показателя преломления воздуха

Часы изме- рений полю- денно	$g_n, 1 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$							g_n ср
	20.06	22.06	23.06	25.06	26.06	27.06	28.06	
0	-3	-3	-8	8	-3	-6	-3	-5
1	0	0	-6	-6	-3	-3	-6	-3
2	-6	0	0	8	0	-6	-6	-5
3	-3	0	0	8	0	-6	-3	-2
4	-3	6	-6	0	0	-8	-3	-2
5	-8	0	-3	-3	-6	-6	-6	-5
6	-6	0	-8	-3	-3	-6	-11	-7
7	-3	0	0	8	-8	-3	-3	-4
8	0	0	6	6	6	6	8	6
9	3	0	3	8	6	6	6	4
10	6	-3	3	8	6	3	-3	3
11	8	0	6	-6	6	11	8	5
12	8	0	8	11	6	6	8	5
13	6	8	6	-8	6	6	8	2
14	6	8	3	0	-8	3	-8	2
15	0	8	6	0	-8	6	-6	1
16	6	8	0	0	-6	14	6	5
17	0	8	0	6	-6	-3	8	2
18	6	8	-3	6	-8	-6	6	1
19	6	8	0	0	-6	-3	8	2
20	-6	0	-3	3	-8	-3	3	-2
21	8	6	0	0	-6	-6	3	-2
22	-3	-3	8	0	-3	-3	3	0
23	-6	-6	-6	-14	-14	-6	-8	-10

Численные значения часовых серий g_n в N единицах приведены в таблице, там же даны усредненные величины g_n за весь период измерений.

На рисунке представлен график, иллюстрирующий суточный ход градиента g_n . График построен по средним значениям g_n за период измерений.

Анализ рисунка свидетельствует о том, что ночью до восхода Солнца g_n отрицателен и близок к своему стандартному значению $g_n = -4 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$ [3].

Примерно через 1,5 часа после восхода Солнца в нижнем слое воздуха (1,5... 6 м) сохраняется адiabатическая стратификация и g_n меняет знак, принимая положительное значение. За 2... 2,5 ч до захода Солнца g_n снова меняет знак на минус, в течение 1,5...

2 ч наблюдается изотермическая стратификация, т. е. сохраняется равновесное состояние атмосферы, удобное для геодезических измерений.

За весь период измерений амплитуда флуктуаций g_n не превышала величин $\pm 0.5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1} \dots 14 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}$. Это, по-видимому, объясняется примерно однородными погодными условиями, сохранившимися на пункте в моменты измерений.

Анализ результатов исследований показывает, что полученные данные о суточном изменении градиента g_n позволяют полнее изу-

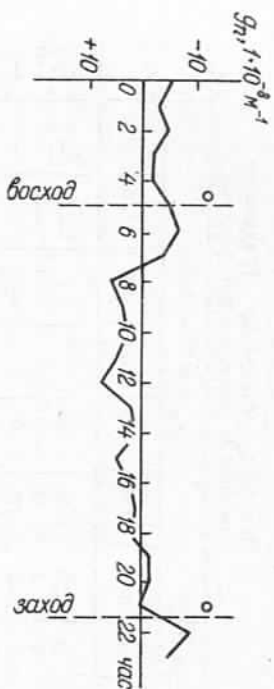


График суточного хода g_n .

чить преломляющие свойства нижних слоев атмосферы, правильно оценивать метеорологическую обстановку в моменты наблюдений, избежать при измерениях периодов максимальных рефракционных выгибов, что имеет практическую ценность для геодезического производства.

Список литературы: 1. *Казанский К. В.* Земная рефракция над обширными водными пространствами. — Л.: Гидрометеонадат, 1966. — 190 с. 2. *Тамли Дж., Лановский К.* Структура атмосферной турбулентности. — М.: Мир, 1966. — 264 с. 3. *Рукля А. Н.* Исследования показателя преломления воздуха в нижнем 300-метровом слое атмосферы в районе Казульской области. — М., 1975. — 11 с. — (Препринт/Ин-т радиотехники и электроники АН СССР; № 85). 4. *Сажин В. А.* Исследование статистических характеристик результатов круглогодичных наблюдений зенитных расстояний в горном районе. — Геодезия, картография и аэрофотогеодезия, 1978, вып. 27, с. 166.

Статья поступила в редколлегию 05.02.85

УДК 528.3

Л. С. ХИЖАК, Н. Д. ПОСИПЧУК, М. М. ФЫС

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СВЕТОВОЙ КРИВОЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В работах [1], [4] приведена общая теория определения уравнения световой кривой по результатам геодезических и метеорологических измерений с учетом уравнений динамики атмосферы. Частные случаи решения указанной задачи рассмотрены в работах [2], [3].

Здесь рассматривается еще один частный случай решения задачи для равнинной поверхности. При этом состоянии атмосферы описывается уравнениями Менделеева—Клапейрона

$$p = \mu \frac{R}{T} \quad (1)$$

и уравнением состояния

$$g\rho = -\frac{dp}{dz}, \quad (2)$$

где ρ — плотность воздуха, μ — масса моля, T — температура воздуха в градусах Кельвина, P — давление воздуха, R — газовая постоянная, g — ускорение свободного падения, z — высота над подстилающей поверхностью.

Решение уравнений (1)—(2) будем искать в виде степенного ряда по степеням z

$$P = P_0 + P_1(z - z_0) + P_2(z - z_0)^2 + \dots + P_n(z - z_0)^n + \dots \quad (3)$$

$$T = T_0 + t_1(z - z_0) + t_2(z - z_0)^2 + \dots + t_n(z - z_0)^n + \dots \quad (4)$$

Для нахождения коэффициентов t_i ($i=1, 2, \dots, n$) используются измерения температуры над подстилающей поверхностью на различных высотах. При этом количество членов n ряда (4) определяется допустимой погрешностью измерения температуры.

Таким образом, для вычисления коэффициентов t_i получим систему из n линейных уравнений. Подставляя вычисленные t_i в стему из (4), получим выражение для температуры T . Решая уравнения (1) и (2) с учетом полученного выражения для температуры T и измеренного значения P_0 давления на высоте z_0 , для плотности ρ получаем выражение

$$\rho = \frac{\alpha \mu}{R} \frac{P_0 + P_1(z - z_0) + P_2(z - z_0)^2 + \dots + P_n(z - z_0)^n}{T_0 + t_1(z - z_0) + t_2(z - z_0)^2 + \dots + t_n(z - z_0)^n}. \quad (5)$$

Учитывая формулу Далам—Гладстона для показателя преломления $n(z)$ получим равенство

$$n(z) = 1 + \frac{\alpha \mu}{R} \frac{P_0 + P_1(z - z_0) + \dots + P_n(z - z_0)^n}{T_0 + t_1(z - z_0) + \dots + t_n(z - z_0)^n}. \quad (6)$$

Используя методику определения уравнения световой кривой [4], значение z_k световой кривой в точке x_k получаем из следующих соотношений:

$$z_k = z_{k-1} + z'_{k-1} x_k + z''_{k-1} x_k^2 + \dots, \quad (7)$$

$$z'_k = \pm \sqrt{\frac{n^2(z)}{n^2(z_0) \sin^2 \xi} - 1}, \quad (8)$$

$$n(z_n) = 1 + \frac{a_n}{R} P_0 + P_1(z_k - z_0) + \dots + P_n(z_k - z_0)^n; \quad (9)$$

$$n(z_0) = 1 + \frac{a_n}{R} \cdot \frac{P_0}{T_0}, \quad (10)$$

где ξ — измеренное зенитное расстояние, a — постоянная, зависящая от длины проходящего излучения.

Значение координат точек световой кривой
 $Z_{\text{дискета}} = 0,226$ м $\chi = 1054$ м

Расстояние от начала световой кривой, м	Z_k , м	$Z_k \cdot 10^{-3}$	n_k
0			
100	0,175 · 10 ⁻²	0,176	1,00035293
200	0,200 · 10 ⁻¹	0,190	1,00035296
300	0,396 · 10 ⁻¹	0,204	1,00035298
400	0,607 · 10 ⁻¹	0,218	1,00035301
500	0,831 · 10 ⁻¹	0,231	1,00035304
600	0,107	0,243	1,00035307
700	0,131	0,256	1,00035310
800	0,157	0,268	1,00035313
900	0,185	0,280	1,00035317
1000	0,213	0,291	1,00035320
1100	0,243	0,302	1,00035323

В частности, ограничиваясь $n=2$, для коэффициентов t получены выражения

$$t_1 = \frac{\Delta t_1 - t_2 \Delta z_1^2}{\Delta z_1^2}; \quad (11) \quad t_2 = \frac{\Delta t_2 \cdot \Delta z_1 - \Delta t_1 \cdot \Delta z_2}{\Delta z_1 \cdot \Delta z_2^2 - \Delta z_2 \cdot \Delta z_1^2}, \quad (12)$$

где T_0 — измеренное значение температуры на высоте z_0 .

$$\Delta t_1 = T_1 - T_0, \quad \Delta t_2 = T_2 - T_0, \quad \Delta z_1 = z_1 - z_0, \quad \Delta z_2 = z_2 - z_0.$$

Здесь T_i ($i=0, 1, 2$) — измеренные значения температуры на высотах z_i ($i=0, 1, 2$), а коэффициенты P_i ($i=1, 2$) определяются из следующих соотношений:

$$P' = -\frac{P_0}{T_0} \frac{g^H}{R}; \quad (13) \quad P_2 = -\frac{g^H P_1}{2T_0 R} - \frac{P_1 t_1}{2T_0}. \quad (14)$$

С целью апробации изложенной методики были произведены вычисления ординат z_k точек световой кривой над водной поверхностью при различных метеорологических условиях по результатам, полученным из специальных измерений.

Результаты вычислений приведены в таблице. Как видно из таблицы, предлагаемая методика позволяет получить необходимое количество точек световой кривой. Однако из этих же вычислений выяснилось, что в некоторых случаях не получаются удовлетворительные результаты. Такое положение может

но объяснить влиянием ошибок определения метеоэлементов и зенитного расстояния. Этот вопрос требует дополнительных исследований.

Список литературы: 1. Маслиц Д. И., Хижак Л. С., Музыка А. М. и др. Об одном методе определения рефракции в случае миражей. — В кн.: У Всесоюз. симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1979, с. 179—183. 2. Маслиц Д. И., Хижак Л. С., Дидух И. И. и др. Определение вертикальной рефракции над равнинной поверхностью в инверсионный период. — В кн.: У Всесоюз. симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1979, с. 184—187. 3. Хижак Л. С., Музыка А. М. Об одном частном методе определения световой кривой. — В кн.: Всесоюз. совещ. по рефракции электромагнитных волн в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1983, с. 95—97. 4. Хижак Л. С., Дидух И. И., Ясикла Н. Б. Об одном методе нахождения уравнения световой кривой. — В кн.: VI Всесоюз. симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере: Тез. докл. Томск, 1981, ч. 3, с. 114—117.

Статья поступила в редколлегию 28. 12. 84

УДК 528.658

С. Н. ХОДОРОВ

К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТРИЛАТЕРАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Плановые инженерно-геодезические сети, которые используются при проектировании и строительстве различных народнохозяйственных объектов, можно создавать и методами трилатерационных сетей. Несмотря на ряд существенных недостатков, геодезическое обоснование в виде трилатерации прокладывают, например, при строительстве прецизионных сооружений. Технологичность развития таких сетей требует нестандартного подхода не только во время проектирования, но и при определении экономических критериев построения сетей трилатерации. Одним из критериев является стоимость создания таких сетей.

Расчет стоимости локальных трилатерационных сетей как важнейший элемент проекта работ не всегда просто осуществить. Известно, что стоимость измерений зависит от их точности. Поэтому для расчета стоимости при создании государственных геодезических сетей нормы выработки (времени) дифференцируют в зависимости от класса (разряда) сети. Поскольку требования к точности инженерно-геодезической трилатерационной сети диктуются разнообразием и спецификой задач при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений и не регламентируются классами (разрядами), установленными действующими инструкциями, то определение стоимостных показателей по установленным нормам выработки [4] затруднено.

К отмеченному можно добавить и то, что в действующих инструкциях и руководствах имеются некоторые противоречия относительно точности измерения сторон трилатерации. Так, по инструк-