

Количество зондирований n колебалось от 40 до 50 в каждом из принятых интервалов E_0 .

Таким образом, предложенная эмпирическая формула (4) и номограмма позволяют с указанной выше точностью учитывать парциальное давление в исследуемом слое для вычисления поправок за рефракцию при радиодальномерных измерениях по величине влажности, измеренной у поверхности Земли.

Список литературы: 1. Труды ГГО и УкрНИГМИ, 1963, вып. 144/40; 1964, вып. 150; 1966, вып. 189; 1971, вып. 276. 2. Труды ГГО, 1953, вып. 39; 1955, вып. 49; 1955, вып. 190.

Статья поступила в редколлегию 15.04.82

УДК 528.03

Л. С. ХИЖАК, Д. И. МАСЛИЧ, С. Г. САВЧУК

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ АНОМАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ ФОТОГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

При измерении зенитных расстояний в случае, когда луч проходит низко над подстилающей поверхностью (асфальт, взлетные полосы и пр.), возможно появление нескольких изображений одной и той же визирной цели. Для исследования условий возникновения такого явления нами проводились специальные экспериментальные работы в прибрежном районе юга Украины над асфальтом, в которых одновременно с измерением метеопараметров и зенитных расстояний фотографировались визирные цели с фиксацией момента экспозиции. Наблюдения выполняли в июне—августе 1979 г. днем.

Рядом с теодолитом ОТ-02 на одной и той же высоте был установлен фотоаппарат «Зенит» с телесобъективом. Фокусное расстояние телесобъектива равно 1000 мм. Фотоаппарат устанавливался на штативе, который стоял на специально вбитых в землю полуметровых железных костылях. Костыли располагались с таким расчетом, чтобы высота центра объектива фотоаппарата и теодолита были одинаковыми и расстояния от визирной марки до плоскостей изображения ее в теодолите и фотоаппарате были равны. При этом фотоаппарат находился на расстоянии примерно 0,5 м от теодолита. Такое расположение теодолита и фотоаппарата позволяет получить разность зенитных расстояний между изображениями целей, сравнимую с соответствующими разностями, полученными из измерений теодолитом.

Визирная марка находилась на расстоянии 786 м от теодолита и фотоаппарата. Расположение наблюдательной станции показано на рис. 1, где приведены форма и размеры визирной марки. Участок асфальта, над которым проводились исследования, был ровным (превышение между станцией и маркой составляло

около 4 см). Были выполнены необходимые геодезические измерения для определения теоретических углов рефракции.

При выбранных условиях исследований многократные изображения появлялись очень часто, даже в пасмурную погоду. Вид визирной марки при многократных изображениях показан на рис. 2.

Наши экспериментальные исследования преследовали такие цели: 1) установить, с какой скоростью происходит изменение уг-

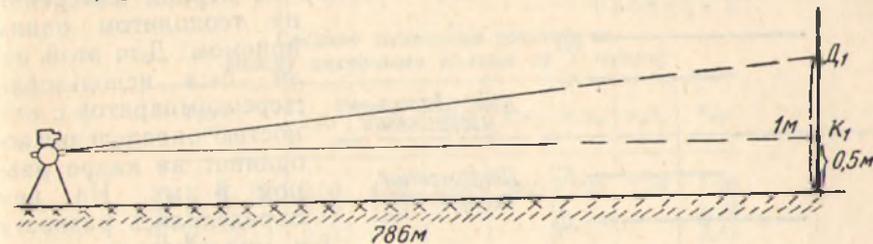


Рис. 1. Схема расположения наблюдательной станции.

лов рефракции в периоды появления многократных изображений и 2) исследовать структуру слоя воздуха, в котором проходят световые лучи. Такого рода исследования необходимы, чтобы, во-первых, можно было установить, когда производить измерения метеопараметров, которые будут использоваться при вычислении углов рефракции и, во-вторых, где производить эти измерения. Дело в том, что определение зенитных расстояний геодезическим методом происходит в определенный промежуток времени (5...15 мин) и в результате мы получаем некоторое среднее значение зенитных расстояний. За этот промежуток времени величина рефракции может измениться, особенно в периоды многократных изображений. И естественно, что скорость изменения рефракции в эти периоды необходимо учитывать при разработке методики определения как метеозлементов, так и зенитных расстояний. Кроме того, при организации метеорологических измерений, необходимо хотя бы приближенно знать структуру слоя воздуха в периоды многократных изображений визирных целей. Только в этом случае можно правильно расположить приборы для измерения метеозлементов.

Чтобы получить изменения расстояний теодолитом одним приемом в момент наведения средней нити теодолита на верхнее изображение длинной полосы D_1 (см. рис. 3), в начале и конце приема проводилось фотографирование визирных целей с экспозицией 1/30—

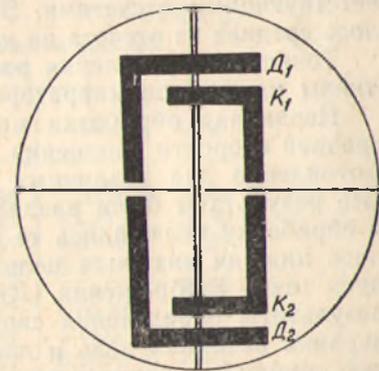


Рис. 2. Вид визирной марки при многократных изображениях.

1/125 с. и одновременной фиксации времени. Таким образом, каждый прием измерения зенитных расстояний теодолитом был окаймлен двумя кадрами (в начале и конце приема). Изменение изображений на кадрах позволит судить о величине изменений аномальной рефракции в период измерения зенитных расстояний одним приемом.

Перейдем непосредственно к описанию методики определения изменения разностей зенитных расстояний за период измерения их теодолитом одним приемом. Для этой цели был использован стереокомпаратор с точностью определения координат на кадре равной 5 мк. На нем определялись разности в миллиметрах между верхним изображением длиной полосы D_1 и остальными изображениями как длинной, так и короткой полос K_1 , K_2 , D_2 . При этом для определения разности на каждое изображение полос производилось четыре наведения марки, сопровождающиеся соответствующими отсчетами. За окончательный результат принималось среднее из отсчета на каждое изображение.

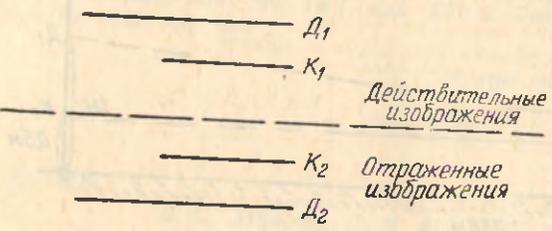


Рис. 3. Момент наведения нити сетки на верхнее изображение длиной полосы.

Точность определения разности зенитных расстояний по негативам на стереокомпараторе для наших условий равнялась 0,1". Первичная обработка материала заключалась в определении средней скорости изменения длины отрезков, воспроизведенных на фотопленке для различных типов изображения визирных целей. Все результаты были разделены на три группы: в первой группе в обработку включались те результаты, когда дважды изображалась нижняя визирная цель и дважды — верхняя, т. е. получались такие изображения (D_1K_1 , K_2D_2). Во вторую включались те результаты определения скорости, когда один раз изображалась верхняя визирная цель и два раза нижняя (D_1 , K_1 , K_2), и в третью группу включались результаты, когда один раз изображалась верхняя визирная цель и один раз нижняя (D_1 , K_1), т. е. отсутствовали многократные изображения. Результаты среднего изменения длины отрезков за 1^м, выраженные в секундах дуги, представлены в табл. 1.

В этой таблице названия столбиков представляют собой длины отрезков, а названия строчки — группы. В первой группе получилось шесть отрезков (см. рис. 3), во второй — три и в третьей — один. Анализируя результаты, приведенные в ней, нетрудно заметить, что скорость большая для тех отрезков, которые включают нижнюю визирную цель для всех трех групп. Поэтому можно сделать вывод, что скорость изменения изображения визирной цели больше тогда, когда цель расположена ближе к подстилающей поверхности. Причем, скорость эта довольно большая

(примерно 2,0" за 1^м). В отдельных случаях она может быть еще больше. Так, для отрезка K_1K_2 наблюдалась величина скорости, равная 10" за одну минуту. Поэтому при измерениях зенитных расстояний с одновременным измерением метеопараметров необходимо учитывать скорость изменения рефракционных искажений, т. е. программу измерений строить так, чтобы исключить в средних результатах скорость изменения рефракционных искажений.

Таблица 1
Средние изменения расстояния между визирными целями за 1 минуту

Группы	D_1K_1	D_1K_2	D_1D_2	K_1K_2	K_1D_2	K_2D_2	v_{cp}
$D_1K_1K_2D_2$	2,00	1,98	1,41	2,65	1,91	2,38	1,96
$D_1K_1K_2$	2,77	1,94	2,12				2,28
D_1K_2	2,41						2,41

Теперь перейдем к рассмотрению вопроса о характере зависимости изображений различных отрезков между собой и величиной рефракции. С этой целью для первой группы изображений была составлена таблица 2, в которой выписывались значения средней

Таблица 2
Значения рефракции верхней и нижней визирных целей

№ п/п	ρ_{D_1}	ρ_{K_1}	D_1K_1	D_2D_2	K_1K_2
1	1 28,9	1 56,9	2 39,86	7 00,16	35,06
2	1 13,9	1 58,9	2 32,43	6 58,72	53,42
3	1 04,4	1 37,7	2 33,67	5 38,48	71,57
4	1 38,6	2 35,7	2 48,93	5 23,42	38,16
5	1 05,6	1 59,0	2 29,75	5 13,73	82,92
6	1 59,4	1 19,0	2 23,77	5 00,73	93,23
7	1 02,4	1 33,1	2 20,47	5 14,97	84,98
8	1 27,7	1 58,1	2 47,07	5 26,93	75,75
9	1 24,7	2 25,4	2 29,95	5 00,32	41,67
10	1 41,0	2 34,6	2 53,52	4 53,52	48,88
11	1 28,9	2 27,6	2 38,41	4 51,45	49,71
12	1 40,7	2 09,8	2 14,69	6 56,04	105,81
13	1 26,7	2 04,7	3 00,48	5 33,94	37,12
14	1 59,9	2 41,9	2 49,96	4 54,34	37,13
15	1 37,9	2 19,3	2 42,54	5 20,33	48,06
16	1 46,8	2 20,6	2 47,90	5 56,42	38,57

рефракции верхней и нижней визирных целей, а также длины отрезков D_1K_1 , D_1D_2 и K_1K_2 , причем в таблицу включались те результаты, которые в данный момент имелись для всех отрезков. Таких синхронных результатов оказалось 16.

По приведенным в табл. 2 результатам была создана корреляционная матрица, в которой выписаны коэффициенты корреля-

ции между величинами средних рефракций верхней и нижней визирных целей, коэффициенты корреляции между величинами рефракции и длинами отрезков, а также коэффициенты корреляции между длинами отрезков. Эта корреляционная матрица представлена в табл. 3.

Теперь проанализируем результаты, приведенные в табл. 3. Нас в первую очередь будет интересовать вопрос о том, что представляет собой граница раздела показателя преломления (см. рис. 3), а именно обладает ли она свойствами зеркальной поверхности, расположенной на одной и той же высоте над подстилающей поверхностью (например, тонкая пленка воздуха, находящаяся в непосредственной близости к асфальту), или эта граница раздела не обладает свойствами зеркальной поверхности и может перемещаться по высоте.

Таблица 3

Значения коэффициентов корреляции между величинами рефракции верхней и нижней визирных целей

ρ_{D_1}	ρ_{K_1}	$D_1 K_1$	$D_1 D_2$	$K_1 K_2$
—	—	0,49	0,02	-0,55
		0,45	-0,20	-0,63
			-0,16	-0,81
				0,09

Частично на поставленные вопросы можно получить ответы, анализируя элементы корреляционной матрицы, приведенные в табл. 3. Граница раздела являлась зеркальной поверхностью, которая занимала бы за весь период наблюдений одно и то же положение, тогда должна бы существовать зависимость между длинами всех отрезков, то есть коэффициенты должны быть близки к ± 1 . В нашем случае эти коэффициенты равны $-0,16$ для отрезков $D_1 K_1$, $D_1 D_2$; $-0,81$ для отрезков $D_1 K_1$ и $K_1 K_2$ и наконец $0,09$ для отрезков $D_1 D_2$, $K_1 K_2$. Таким образом, для двух пар отрезков отсутствует корреляционная связь между ними и только для одного некоторая связь существует. Поэтому можно утверждать, что многократные изображения не являются следствием зеркального отражения от асфальта или пленки воздуха, непосредственно прилегающей к нему. Если бы граница раздела была зеркальной поверхностью, но перемещалась со временем по высоте, причем это перемещение не зависело бы от рефракции, тогда коэффициенты корреляции между отрезками тоже должны бы были быть близкими к ± 1 . Следовательно, и эту гипотезу необходимо отбросить. Остается третья гипотеза, которая заключается в том, что многократные изображения получаются в результате полного внутреннего отражения от нескольких границ раздела, причем эти границы изменяют свое положение над подстилающей поверхностью и связаны каким-то образом с величиной рефракции (эта связь может быть довольно сложной).

Полученные коэффициенты корреляции подтверждают третье предположение, т. е. многократные изображения получаются в результате полного внутреннего отражения от нескольких границ, которые за период измерения зенитных расстояний одним приемом изменяют свое положение.

В результате проведенных исследований можно сделать заключение, что в периоды появления многократных изображений происходит очень быстрое изменение структуры слоев воздуха, непосредственно прилегающих к подстилающей поверхности, что приводит к быстрым изменениям углов рефракции, которые в среднем составляют $2''$ на 1 минуту времени. Естественно, что в этих условиях такие изменения следует учитывать при одновременном измерении зенитных расстояний и метеопараметров с целью определения величины вертикальной рефракции.

Статья поступила в редколлегию 07.04.82

УДК 528.3.:535.36

Л. С. ХИЖАК, Д. И. МАСЛИЧ, Н. Б. ЯСКИЛКА, Н. Д. ИОСИПЧУК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАВНЕНИЯ СВЕТОВОЙ КРИВОЙ И УГЛОВ РЕФРАКЦИИ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБУЛЕНТНОЙ АТМОСФЕРЫ

Как было показано в [1], для равнинной однородной поверхности уравнение световой кривой может быть представлено в виде ряда

$$z(x) = z_0 + z'_0 x + \frac{1}{2} z''_0 x^2 + \frac{1}{6} z'''_0 x^3 + \dots, \quad (1)$$

где x, z — текущие координаты, $z_0^{(k)}$ — производная от z по x k -того порядка в точке световой кривой $x=0, z=0$.

Такое представление возможно с какой угодно степенью точности, если ряд будет сходящимся. Сходимость ряда (1) будет зависеть от промежутка $(0, x)$, в котором представляется уравнение световой кривой. Если длина этого промежутка будет больше области сходимости ряда, то представление уравнения световой кривой рядом (1) будет некорректным.

Чтобы избежать такого положения, воспользуемся предложенным нами ранее методом [1], то есть разобьем всю траекторию световой кривой на k таких участков, для которых ряд (1) будет сходиться.

Тогда уравнение световой кривой может быть представлено в виде

$$z(x) = z_k + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z_k^{(n)} (x - x_k)^n}{n!}, \quad (2)$$

где

$$z_k = z_{k-1} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z_{k-1}^{(n)} (x_k - x_{k-1})^n}{n!} \quad (3)$$

$$(k = 1, 2 \dots m).$$