

## Боковая рефракция в сетях сгущения

Д.Л.Дробязко, В.И.Куштин  
РГСУ, Ростов-на-Дону

В настоящее время точные угловые измерения выполняются в основном только в полигонометрических сетях сгущения. Развитие и восстановление государственных геодезических сетей производится практически повсеместно методами спутниковой геодезии.

Угловые измерения в сетях сгущения не относятся к высокоточным и потому в них не принято учитывать влияние боковой рефракции, которая, как правило, на порядок, а то на два меньше вертикальной. Однако, это не исключает возможности появления больших искажений при угловых измерениях в полигонометрических сетях сгущения, так как в используемой при проложении полигонометрических ходов трехштативной схеме выполнения наблюдений визирные лучи часто проходят вблизи подстилающей земной поверхности, т.е. в приземном слое воздуха, где при определенных условиях могут возникать весьма значительные горизонтальные температурные градиенты, которые и являются причиной боковой рефракции.

В работе [1] были получены формулы, позволяющие оценить величину возможного влияния рельефа местности на боковую рефракцию. Это влияние может быть рассчитано по формуле

$$r = 16,3 \frac{p}{T^2} \mu K, \quad (1)$$

где  $r$  – боковая рефракция (в угловых секундах);

$p$  – давление воздуха (в гПа);

$T$  – температура воздуха (в К);

$\mu$  – параметр температурной стратификации приземного слоя воздуха (в К или °С);

$K$  – коэффициент рефракционной опасности направления.

Коэффициент рефракционной опасности – безразмерная величина, определяемая геометрией подстилающей земной поверхности по трассе визирного луча и условиями его (луча) прохождения над этой поверхностью. В общем случае коэффициент рефракционной опасности следует вычислять по формуле

$$K = \frac{1}{D \sin^2 z_0} \int_0^D \frac{\operatorname{tg} \nu_x}{h} (D - Y) dY, \quad (2)$$

где  $D$  – горизонтальное расстояние до наблюдаемой цели;

$z$  – зенитное расстояние наблюдаемой цели;

$\nu_x$  – поперечный к лучу визирования угол наклона подстилающей земной поверхности, положительный при повышении местности справа налево относительно наблюдателя, и отрицательный – в противном случае;

$h$  – высота визирного луча над подстилающей поверхностью;

$Y$  – горизонтальное расстояние до текущей точки луча визирования из пункта наблюдений.

Приведенные выше формулы позволяют оценить возможное влияние боковой рефракции на угловые измерения в полигонометрических сетях сгущения в случае наличия наклона подстилающей земной поверхности в поперечном к сторонам ходов направлении.

Для упрощения расчетов по оценке возможного влияния боковой рефракции на угловые измерения в полигонометрии предположим, что визирный луч горизонтален ( $z = 90^\circ$ ) и распространяется на одной и той же высоте ( $h = \text{const}$ ) над однородной плоской подстилающей поверхностью ( $\nu_x = \text{const}$ ). В этом случае коэффициент рефракционной опасности можно будет рассчитывать по простой формуле

$$K = \frac{D \operatorname{tg} v_x}{2h \sin^2 z} \quad (3)$$

В табл.1 приведены коэффициенты рефракционной опасности, рассчитанные по формуле (3), для направлений длиной от 80 до 2000 метров, охватывающих весь диапазон длин сторон в полигонометрии 4 класса и 1, 2 разрядов [2], в случае распространения горизонтального луча визирования на высоте 1,5 метра над подстилающей поверхностью, что примерно соответствует высоте над землей устанавливаемых на штатив геодезических приборов и марок, и различных поперечных к визирному лучу углов наклона подстилающей поверхности.

Таблица 1

Коэффициенты рефракционной опасности направлений для различных дальностей и поперечных углов наклона подстилающей поверхности

Дальность, м	Угол наклона подстилающей поверхности					
	1°	2°	5°	10°	15°	20°
80	0,47	0,93	2,33	4,70	7,15	9,71
100	0,58	1,16	2,92	5,88	8,93	12,13
200	1,16	2,33	5,83	11,76	17,86	24,26
300	1,75	3,49	8,75	17,63	26,79	36,40
400	2,33	4,66	11,67	23,51	35,73	48,53
500	2,91	5,82	14,58	29,39	44,66	60,66
600	3,49	6,98	17,50	35,27	53,59	72,79
700	4,07	8,15	20,41	41,14	62,52	84,93
800	4,65	9,31	23,33	47,02	71,45	97,06
900	5,24	10,48	26,25	52,90	80,38	109,19
1000	5,82	11,64	29,16	58,78	89,32	121,32
1500	8,73	17,46	43,74	88,16	133,97	181,99
2000	11,64	23,28	58,33	117,55	178,63	242,65

В работе [1] было экспериментально установлено, что в районе эксперимента (Центральный Кавказ) дневной ход, а, следовательно, и максимальные по абсолютной величине значения параметра  $\mu$  достигали 1,3 – 1,4 °С. Эксперимент проводился в диапазоне высот от 1500 до 3500 метров над уровнем моря. Поскольку параметр  $\mu$  обратно пропорционален плотности атмосферного воздуха, можно допустить [3], что для большей части подстилающей земной поверхности суши максимальные в течении дня значения этого параметра будут характеризоваться величиной, примерно равной 1 °С.

В табл.2 приведены рассчитанные по формуле (1) максимально возможные рефракционные искажения горизонтальных направлений, характеризующих теми же условиями распространения визирного луча и, соответственно, коэффициентами рефракционной опасности  $K$ , что и в табл.1. Расчеты выполнены для нормальных атмосферных условий ( $p = 1013,25$  гПа,  $T = 288,15$  К) и значении параметра  $\mu = 1$  °С.

Таблица 2

Боковая рефракция (в угловых секундах) для различных дальностей и поперечных к лучу визирования углов наклона подстилающей земной поверхности

Дальность, м	Угол наклона подстилающей поверхности					
	1°	2°	5°	10°	15°	20°
80	0,1	0,2	0,5	0,9	1,4	1,9
100	0,1	0,2	0,6	1,2	1,8	2,4
200	0,2	0,5	1,2	2,3	3,6	4,8
300	0,3	0,7	1,7	3,5	5,3	7,2
400	0,5	0,9	2,3	4,7	7,1	9,7
500	0,6	1,2	2,9	5,8	8,9	12,1
600	0,7	1,4	3,5	7,0	10,7	14,5
700	0,8	1,6	4,1	8,2	12,4	16,9
800	0,9	1,9	4,6	9,4	14,2	19,3
900	1,0	2,1	5,2	10,5	16,0	21,7
1000	1,2	2,3	5,8	11,7	17,8	24,1
1500	1,7	3,5	8,7	17,5	26,6	36,2
2000	2,3	4,6	11,6	23,4	35,5	48,3

Выполненные нами расчеты показывают, что при угловых измерениях в полигонометрических сетях сгущения искажения измеряемых направлений вследствие боковой рефракции не только возможны, но и могут быть весьма существенными, заметно превышающими установленные [2] допуски на точность угловых измерений в этих сетях. Поэтому, при проложении полигонометрических ходов по трехштативной схеме следует избегать сколько-нибудь заметных поперечных сторонам ходов наклонов подстилающей земной поверхности и не располагать смежные пункты полигонометрии на одних и тех же склонах вытянутых форм рельефа. В случае невозможности соблюдения вышеназванных ограничений, измерения углов на соответствующих пунктах следует производить, как и в высокоточных угловых измерениях, в периоды утренней и/или вечерней изотермии воздуха, когда значения стратификационного параметра  $\mu$  минимальны (близки к нулю).

#### Литература

1. Дробязко, Д.Л. Учет боковой рефракции при проектировании геодезических сетей в горной местности [Текст] : дис. ... канд. тех. наук : 05.24.01 : защищена 18.12.92 : утв. 09.04.93 / Дмитрий Леонидович Дробязко. – СПб., 1992. – 149 с.
2. ГКИНП 02-033-82. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 [Текст]. – М. : Недра, 1982.
3. Международная стандартная атмосфера [электронный ресурс] // dic.academic.ru : информ. портал : Академик. – URL : [http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_tech/2697/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_tech/2697/%D0%9C%D0%B5%D0%B6%D0%B4%D1%83%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%D1%8F) (дата обращения: 23.09.2012).