

УДК 528.088.24

Г. Г. ПЕТРАШЕВИЧ

## ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЫСОТ ОПОЗНАКОВ

Как указывалось ранее [2], некоторого повышения точности одностороннего нивелирования при определении высот опознаков можно достичь за счет использования среднего значения коэффициента рефракции для соответствующих периодов дня.

Рассмотрим вопрос о более существенном повышении точности одностороннего нивелирования для конкретного физико-географического района производства работ при относительно низком прохождении визирных лучей над подстилающей поверхностью за счет учета времени дня наблюдения и внешних условий прохождения визирных лучей, то есть с учетом: 1) времени дня наблюдения  $t$ , час; 2) высоты прохождения визирных лучей над подстилающей поверхностью (эквивалентная высота  $h_0$ , м); 3) погоды ( $Я$  — ясная,  $П$  — переменная,  $О$  — облачная; 4) силы ветра ( $TB$  — 0—1 м/сек,  $ЛВ$  — 1—3 м/сек,  $СВ$  — 3—5 м/сек).

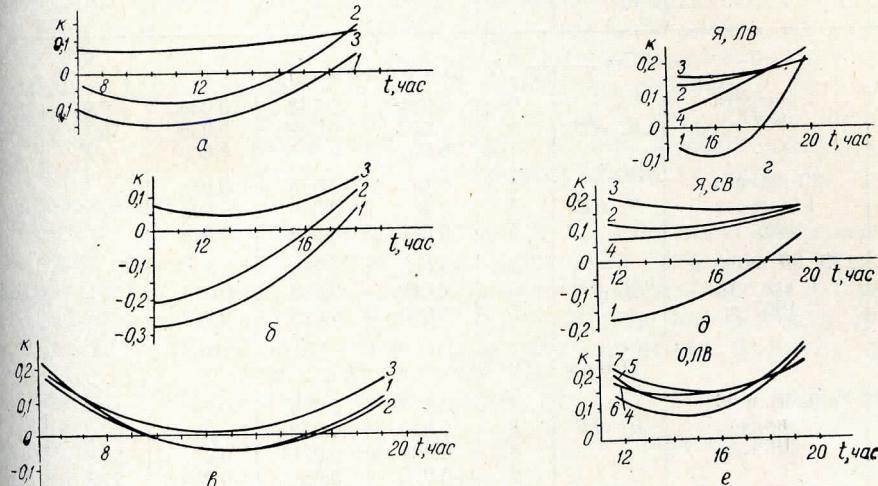
Практически учесть влияние вертикальной рефракции по времени для направлений с различными эквивалентными высотами в зависимости от указанных условий погоды, как показали исследования, можно в том случае, если для этих метеоусловий получить в нужном интервале эквивалентных высот ряд уравнений (желательно более трех) дневного хода рефракции.

Найти уравнения, из которых можно было бы для конкретных внешних условий прохождения визирного луча по времени дня (для определенного момента) вычислить вероятнейшее значение коэффициента рефракции  $k$ , лучше всего сглаживанием статистических рядов по способу Чебышева. Для этого число величин  $k$  в статистических рядах может быть ограничено [3], вот почему нет надобности ставить специальные исследования для учета влияния вертикальной рефракции, достаточно по мере выполнения производственного задания измерять зенитные расстояния с последующим исключением из них систематического влияния толщины нити трубы и личной ошибки визирования по направлениям, отметки которых определены геометрическим нивелированием. При этом необходимо фиксировать время наблюдения с точностью до нескольких минут (средний момент) и состояние погодных условий без применения каких-либо метеоприборов. Что же касается определения эквивалентных высот, то тут желательно использовать имеющиеся топокарты наилучшего крупного масштаба.

По предложенной В. И. Хотимским методике [3] обработаны статистические ряды неравноотстоящих величин  $k$  (имеется в виду время) равноточных измерений по трем направлениям на пункте II (Заполярье) [2] и по семи направлениям на пункте  $P$  геодезического полигона Львовского политехнического института. Все наблюдения выполнены по одной программе одним и тем же наблюдателем, одним и тем же теодолитом OT-02. При этом в статистическую обработку не включены величины  $k$ , полученные в околополуденное время (1—2 час),

до наступления утренних и после окончания вечерних моментов спокойных изображений, что дает возможность составленные по отдельным направлениям статистические ряды считать состоящими из равноточных измерений.

В результате математической обработки найдены уравнения парабол  $\Phi(u)$ , которые описывают дневной ход рефракции в зависимости от времени дня по направлениям с различными эквивалентными высотами (см. рисунок). Средние квадратические отклонения  $\sigma$ , количество



Уравнения парабол зависимости величин  $k$  от времени наблюдения. Пункт II  
( $a, b, c$ );

$a$  — Я, ЛВ;  $b$  — Я;  $c$  — О, ЛВ. Направления на: 1 — 1, 3 — 2, III — 3.  
Пункт Р ( $d, e, f$ );  $d$  — Я, ЛВ;  $e$  — Я, СВ;  $f$  — О, ЛВ. Направления на: В — 1,  
СВ — 2, К — 3, Б — 4, Оп. 1 — 5, Оп. 2 — 6, Оп. 3 — 7.

величин  $n$  в рядах и прочие показатели приведены в табл. 1. Из данных таблицы видно, что статистические ряды составлены из серий наблюдений, выполненных в разные дни. Только на пункте II в одном случае ряды составлены лишь по однодневным наблюдениям. Средние квадратические отклонения, с которыми уравнения парабол представляют интерполируемые функции ( $\sigma_0$  — среднее арифметическое;  $\sigma_1$  — уравнение прямой,  $\sigma_2$  — уравнение параболы), имеют различные величины. Среднее квадратическое отклонение  $\sigma_1$  значительно меньше, чем  $\sigma_0$  во всех случаях, а в свою очередь  $\sigma_2$  меньше, чем  $\sigma_1$ . Такое постоянное уменьшение величин  $\sigma$  указывает на эффективность определения уравнения второго порядка.

На пункте Р при измерении зенитных расстояний на опознаки погода была неустойчивая, и поэтому для направления Р—оп. 1 уравнение параболы определено с наибольшим среднеквадратическим отклонением ( $\sigma_2=0,098$ ), а во всех остальных случаях аналогичные величины являются меньшими и колеблются в пределах от 0,014 до 0,070 для направлений с относительно небольшими эквивалентными высотами (7,9—28,6 м).

Более точные результаты сглаживания (уравнения парабол) получены для наблюдений, выполненных при облачной погоде на пункте II ( $\sigma_2=0,014$ —0,042). Кроме того, уравнения, характеризующие наблюдения при ясной погоде и силе ветра 3—5 м/сек, имеют несколько меньшие  $\sigma_2$  (0,029—0,048), чем при ветре 1—3 м/сек.

Сопоставляя уравнения параболы при идентичных условиях погоды (см. рисунок), видим некоторые отличительные особенности дневного хода рефракции в районах Заполярья и Предкарпатья, а также изменения влияния эквивалентной высоты на дневной ход рефракции в тече-

ние дня при различных погодных условиях. При облачной погоде заметно уменьшается влияние эквивалентной высоты на дневной ход даже в близполуденное время и т. д. (см. рисунок *a, b, г, е*).

Таблица 1

Характеристика направлений

Пункты визиро- вания	Даты наблюдений	Условия погоды	<i>n</i>	$\sigma_0$	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$h_0, м$	<i>s, км</i>
Пункт II (Заполярье)								
1 3 III	1 августа 1967 г.	Я, ЛВ	9 9 9	0,084 0,080 0,072	0,068 0,059 0,067	0,058 0,036 0,065	7,9 10,4 13,4	3,9 5,6 6,3
1 3 III	30 июля и 1 августа 1967 г.	Я, СВ	5 5 5	0,143 0,130 0,043	0,055 0,050 0,038	0,046 0,048 0,029	Te	же
1 3 III	29, 30 июля и 1 августа 1967 г.	О, ЛВ	5 5 5	0,055 0,069 0,030	0,044 0,033 0,028	0,042 0,017 0,014	Te	же
Пункт Р (Предкарпатье)								
В СВ К Б	9, 10 и 11 июля 1968 г.	Я, ЛВ	8 8 8 8	0,127 0,036 0,025 0,070	0,086 0,030 0,021 0,034	0,067 0,029 0,020 0,033	10,0 27,2 28,6 21,5	5,8 9,5 9,0 5,0
В СВ К Б	9, 10 и 11 июля 1968 г.	Я, СВ	32 32 32 32	0,104 0,036 0,032 0,055	0,071 0,033 0,031 0,052	0,070 0,032 0,031 0,050	Te	же
Б Оп. 1 Оп. 2 Оп. 3			11 11 11	0,034 0,103 0,070	0,030 0,101 0,060	0,020 0,098 0,041	21,5 11,1 8,1	5,0 2,1 2,2
	11 августа 1968 г.	О, ЛВ	11	0,049	0,046	0,031	13,7	3,1

Однако при ясной погоде и силе ветра 3—5 м/сек (см. рисунок *b* и *д*) уравнения парабол от направления к направлению отличаются больше, чем при ясной погоде и силе ветра 1—3 м/сек. Данное явление следует считать случайным прежде всего потому, что при этих условиях наблюдения выполнялись лишь с 10—11 часов. Влияние силы ветра по сравнению с другими факторами незначительно и при учете силы ветра достаточно фиксировать его только в двух интервалах (0—1 и более 1 м/сек).

Пользуясь графиками уравнений, можно легко по времени дня для определенного значения  $h_0$  и конкретных условий облачности и силы ветра найти вероятнейшее значение коэффициента рефракции. Удобнее пользоваться номограммой учета влияния вертикальной рефракции, ее лучше всего составить из ряда уравнений парабол, средние квадратические отклонения которых минимальны, так как от этого в известной степени зависит точность определения вероятнейшего значения  $k$ . Необходимое число уравнений парабол для составления номограммы следует принять в зависимости от метеоусловий, самих величин  $h_0$  и их интервала, в котором предстоит определять значения  $k$ . При ясной погоде и при слабом ветре для интервалов эквивалентных высот  $h_0$  до 12, 12—24 и более 24 м шаг номограммы не должен превышать соответственно 2, 4 и 8 м. При облачной погоде и при среднем ветре он может быть увеличен в два или более чем в два раза.

Из приведенного видно, что вероятнейшее значение может быть получено с большей точностью при облачной и ветреной погоде. Сле-

дует учесть, что величины  $\sigma_2$  могут быть уменьшены путем исключения из результатов наблюдений величин  $k$ , значения которых существенно отличаются от вероятнейших.

По части результатов исследования ЦНИИГАиК [1] составлено 28 статистических рядов при  $h_0=5,1-30,2$  м и различных погодных условиях, а средние квадратические отклонения  $\sigma_2$  рядов имеют несколько меньшие значения по сравнению с рассмотренными.

В настоящее время получила широкое распространение комплексная организация работы в полевых топографо-геодезических бригадах, при которой одна и та же бригада выполняет наблюдения на пунктах триангуляции и пунктах по планово-высотному определению опознавов. Последнее дает возможность использовать высокоточные оптические теодолиты и для нахождения высот опознавов. В этом случае точность измерения зенитных расстояний при определении высот опознавов может быть такой же, как и в сетях триангуляций, то есть составлять несколько секунд.

Исходя из этого, рассмотрим точность определения высот опознавов односторонним нивелированием, учитывая следующие средние квадратические ошибки  $m_h$  — коэффициента рефракции,  $m_z$  — зенитного расстояния,  $m_s$  — длины линии,  $m_i$  — высоты инструмента,  $m_v$  — высоты визирования. Для этого, продифференцировав формулу одностороннего нивелирования  $h=s \operatorname{ctg} z + s^2 \frac{1-k}{2R} + i - v$  по переменным  $k, z, s, i, v$  и полагая, что  $\operatorname{ctg} z \approx 0$ , а  $\sin z \approx 1$ , получаем

$$m_h^2 = \left( 2s \frac{1-k}{2R} \right)^2 + m_s^2 + \frac{s^2}{\rho^2} m_z^2 + \frac{s^4}{4R^2} m_k^2 + m_i^2 + m_v^2.$$

По приведенной формуле в табл. 2 выполнен приближенный предрасчет точности определения высот опознавов односторонним нивелированием для различных значений  $m_k$  и  $m_z$  (в числителе по одному, а в знаменателе — по трем направлениям) при  $m_s=1:2000$  и  $m_i=m_v=0,01$  м. Этот предрасчет носит несколько приближенный характер, так как величины  $k$ , установленные по номограмме, будут иметь большие ошибки, чем величины  $\sigma_2$ .

Таблица 2

Точность определения высот опознавов односторонним геодезическим нивелированием

$m_k = \pm 0,02$		$m_k = \pm 0,03$		$m_k = \pm 0,05$	
$m_z = \pm 2''$	$m_z = \pm 5''$	$m_z = \pm 2''$	$m_z = \pm 5''$	$m_z = \pm 2''$	$m_z = \pm 5''$
$s = 3$ км					
0,035 0,020	0,075 0,043	0,039 0,022	0,077 0,039	0,048 0,028	0,082 0,047
$s = 6$ км					
0,082 0,047	0,157 0,091	0,104 0,060	0,170 0,098	0,153 0,090	0,203 0,117
$s = 10$ км					
0,185 0,107	0,289 0,170	0,255 0,147	0,338 0,200	0,404 0,233	0,461 0,266

Поскольку средние ошибки высотой съемочной сети относительно ближайших пунктов государственной геодезической сети при съемке плоскоравнинных районов в масштабе 1 : 10000 с сечением рельефа через 2,5 м не должны быть больше 0,15 и 0,06 м при сечении рельефа через 1 м [4], то из табл. 2 следует, что ошибки одностороннего ниве-

лирования по трем направлениям не превышают 0,15 м для расстояний примерно до 6 км при  $m_k = \pm 0,05$  и  $m_z = \pm 5''$ . Ошибки составляют не более 0,06 м для расстояний до 6 км лишь при  $m_k = \pm 0,03$  и  $m_z = \pm 2''$ , что наблюдается при облачной и ветреной погоде. В тех случаях, когда для определения высоты опознавка необходимо выполнить геодезическое нивелирование на большие расстояния, то целесообразно для достижения требуемой точности применять в сочетании с односторонним двустороннее нивелирование по одному-двум направлениям.

Рассмотренная методика определения вероятнейших значений коэффициентов вертикальной рефракции выравниванием статистических рядов дает возможность практически учитывать ряд внешних условий прохождения визирных лучей и времени дня наблюдения, что открывает более широкие перспективы применения одностороннего геодезического нивелирования при определении высот опознавок для топографических съемок масштаба 1 : 10000.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — Тр. ЦНИИГАиК, вып. 102, М., Геодезиздат, 1955.
2. Маслич Д. И., Петрашевич Г. Г. Суточные изменения рефракции в Заполярье. «Геодезия и картиграфия», 1969, № 9.
3. Наставление по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10000 и 1 : 25000. Ч. 1. Полевые работы. М., «Недра», 1964.
4. Хотимский В. И. Выравнивание статистических рядов по методу наименьших квадратов (способ Чебышева). М., Госстатиздат, 1959.

Работа поступила в редакцию 15 декабря 1971 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского ордена Ленина по литехнического института.

---