

Ф. Ф. СОЛОВЬЕВ, Р. И. АКУНЕИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОК К ПРИНЯТОМУ КОЭФФИЦИЕНТУ РЕФРАКЦИИ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ СКВАЖИН

В связи с возросшими требованиями к точности геодезического нивелирования, вычисление превышений с постоянным коэффициентом рефракции в различных физико-географических условиях не всегда оправдано. В исследованиях [1, 2] показано изменение коэффициентов рефракции во времени и пространстве. Если учитывать это изменение коэффициента рефракции, то значительно повысится точность геодезического нивелирования. Учет таких изменений может производиться различными способами. При геодезическом нивелировании скважин создаются особые условия: большая высота визирного луча, отличная визирная цель, вытянутая в горизонтальном направлении, большое количество направлений, по которым измеряются зенитные расстояния. На основании изложенного выше предлагается два способа введения поправок, которые практически применяются нами при определении высот скважин и дают вполне удовлетворительные результаты. Для удобства изложения эти способы мы проиллюстрируем примерами, взятыми из производственных работ.

Первый способ. Превышения, вычисленные с использованием табличного коэффициента рефракции ($k=0,13$), исправляются по коэффициентам, вычисленным на момент наблюдений.

Поправка Δh за разность коэффициентов рефракции для одностороннего нивелирования вычисляется по формуле:

$$\Delta h = \frac{s^2}{2R} (k_T - k_H), \quad (1)$$

где s — расстояние до определяемых пунктов (скважин);
 R — радиус Земли;
 k_T — табличный коэффициент рефракции;
 k_H — коэффициент рефракции на момент наблюдений.

Значение коэффициента k_H вычисляется по истинному зенитному расстоянию, определяемому по линии с известными отметками конечных пунктов из геометрического нивелирования с помощью формулы

$$k_H = \frac{2R}{\rho'' s} (z'' - z'), \quad (2)$$

где z'' — истинное зенитное расстояние;
 z' — измеренное зенитное расстояние, приведенное к центру пункта;
 s — расстояние между пунктами.

Истинное зенитное расстояние находится по формуле:

$$z_{1,2}^* = 90^\circ + s \frac{\rho''}{2R} - \frac{h}{s} \rho'',$$

где $h = H_2 - H_1$ — превышение между пунктами, полученное из геометрического нивелирования.

Приведенное к центру пункта зенитное расстояние вычисляется по формуле:

$$z' = z + \frac{l_2 - l_1}{s} \rho,$$

где l_2 — высота точки визирования над центром 2;
 l_1 — высота инструмента над центром пункта 1;
 z — измеренное зенитное расстояние.

Пример. С пункта Д при $i = 1,81$ м, $H = 412,40$ м (отметка получена из геометрического нивелирования) наблюдаются следующие направления (табл. 1).

Таблица 1

Название наблюден- ных пунктов	Высота точки визиро- вания	Зенитные расстояния, z	Сторона s , м	cs^2 , м $(c = \frac{1-k}{2R})$	$h' =$ $= s \operatorname{ctg} z$	$h = h' +$ $+ cs^2 +$ $+ i - l$	H
Пункт Д	6,6	90°16'16"	4464,7	+1,35	- 21,12	-24,56	387,84
Скв. 19	53,46	90°05'01"	4273,1	+1,24	- 6,24	-56,65	355,75
Скв. 11	43,26	88°13'38"	4207,2	+1,20	+130,22	+89,97	502,37

Пункт Д также имеет отметку, полученную из геометрического нивелирования, $H_D = 387,99$ м.

На момент наблюдения коэффициент рефракции, вычисленный по формуле (2), оказался равным 0,04.

Вычисление коэффициента k_n для направления Л—Д приводится в табл. 2.

Согласно формуле (1), $\Delta h = \pm 0,14$ м.

Этой поправкой уточняется каждое из превышений, вычисленных для всех направлений с данного пункта. Поэтому в нашем примере исправленные превышения будут следующие: $h_D = +24,42$ м, $h_{19} = -56,51$ м, $h_{11} = +90,11$ м. В соответствии с этим отметки скважин будут такими: $h_{19} = 355,89$ м, $h_{11} = 502,51$ м.

Высоты скважин 19 и 11, определенные с других пунктов таким же методом, соответственно имеют значения 355,88 м, 502,53 м. Последующее определение высот скважин из геометрического нивелирования подтвердило полученные данные из геодезического нивелирования. Описанный прием исправления результатов геодезического нивелирования можно применять в случаях, когда наблюдения выполнены в условиях большого различия коэффициентов рефракции от табличных. При привязке скважин на площадях бурения наблюдения с пунктов геодезической основы имеют место во все времена года. Это дает возможность повторять наблюдения на пункты, имеющие отметки из геометрического нивелирования, и следить за изменением коэффициента рефракции.

Для нахождения поправок за изменение коэффициентов рефракции можно пользоваться табл. 3, данные которой рассчитаны по формуле (1).

Пользуясь табл. 3, по данному расстоянию и найденной разнице $\Delta h = H_{\text{геом}} - H_{\text{геодез}}$ можно также найти коэффициент рефракции на момент наблюдения для других линий нивелирования.

Таблица 2

№ п.п.	Порядок действий	№ п.п.	Порядок действий
1	H_1 412,40	12	$\frac{\rho''}{2R}$ 0,01616
2	H_2 387,99	13	$s \frac{\rho''}{2R}$ 1'12"2
3	h -24,41	14	$90^\circ + s \frac{\rho''}{2R}$ 90°01'12"2
4	s 4464,7	15	$h \frac{\rho''}{S}$ -18'47"7
5	l_2 6,60	16	$z''_{1,2}$ 90°19'59"9
6	l_1 1,81	17	$z''_{1,2} - z'_{1,2}$ 0°00'02"6
7	$l_2 - l_1$ 4,79	18	$\rho'' s$ 92091 · 10 ⁴
8	$\frac{\rho''}{s}$ 46,20	19	$\frac{2R}{\rho'' s}$ 0,0139
9	$\frac{l_2 - l_1}{s} \rho''$ +3'41"3	20	K_n 0,04
10	$z_{1,2}$ 90°16'16"		
11	$z'_{1,2}$ 90°19'57"3		

Второй способ. Исправление превышений, вычисленных по данным измерений в неблагоприятный период (до 9 часов утра и после 17 час.) может быть произведено по данным наблюдений в период между 9 и 17 часами. Для этого, в программу наблюдений следует включать несколько пунктов, отнаблюденных в указанный благоприятный период времени, тогда поправка в превышении определяется по формуле:

$$\Delta h = h'' - h', \quad (3)$$

где h'' — превышение, полученное по наблюдениям в неблагоприятный период;
 h' — превышение, полученное по наблюдениям в благоприятный период.

Например, на пункте B ($i=1,22$ над трубой, $H_B = 633,35$) вычислены превышения по данным наблюдений между 12—13 часами, в период отличной видимости на пункты $У$ и $О$, которые приводятся в табл. 4.

Затем на пункте B были изменены зенитные расстояния за двадцать минут до захода солнца и в период времени, отстоящий от первых наблюдений (табл. 4) на один месяц (см. табл. 5, пункт $Bi=1,14$).

Расстояние, км	Разность коэффициентов ($k_T - k_H$)												
	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
	Поправки (м)												
3,0	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,08	0,05	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01
3,5	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02
4,0	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	0,02
4,5	0,22	0,21	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,08	0,06	0,05	0,03
5,0	0,27	0,25	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04
5,5	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,21	0,19	0,16	0,14	0,12	0,09	0,07	0,05
6,0	0,39	0,37	0,34	0,31	0,28	0,25	0,22	0,20	0,17	0,14	0,11	0,08	0,06
6,5	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,30	0,26	0,23	0,20	0,16	0,13	0,10	0,07
7,0	0,54	0,50	0,46	0,42	0,38	0,34	0,31	0,27	0,23	0,19	0,15	0,12	0,08
7,5	0,62	0,57	0,53	0,48	0,44	0,40	0,35	0,31	0,26	0,22	0,18	0,13	0,09
8,0	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
8,5	0,79	0,74	0,68	0,62	0,57	0,51	0,45	0,40	0,34	0,28	0,23	0,17	0,11
9,0	0,89	0,82	0,76	0,70	0,63	0,57	0,51	0,44	0,38	0,32	0,25	0,19	0,13
9,5	0,99	0,92	0,85	0,78	0,71	0,64	0,56	0,49	0,42	0,35	0,28	0,21	0,14
10,0	1,10	1,02	0,94	0,86	0,79	0,71	0,63	0,55	0,47	0,34	0,31	0,24	0,16

Таблица 4

Наблюден. пункты	Высота точки визиров	Зенитное расстояние, z	Сторона s , м	$h = s \operatorname{ctg} z$	$\left(c = \frac{cs^2, \text{ м}}{1-k} \right)$	$h = h' + cs^2 +$ $+i-l$	$\frac{s}{h_2}$
У	5,54	92°26'56"0	5404,8	-231,14	+1,99	-233,47	69
О	7,37	90°57'41"0	2936,2	-49,28	+0,58	-54,86	71

Таблица 5

Наблю- ден. пункты	Высота точки визирова- ния	Зенитные расстояния, z	Сторона s , м	$h' = s \operatorname{ctg} z$	$\left(c = \frac{cs^2, \text{ м}}{2R} \right)$	$h = h' + cs^2 +$ $+i-l$
У	5,54	92°27'10"0	5404,8	-231,51	+1,99	-233,92
О	7,37	90°58'07"0	2936,2	-49,65	+0,58	-55,30
Скв. 9	43,30	92°12'21"6	3148,7	-121,29	+0,68	-162,77

Разности в превышениях на пункты У, О между первым (табл. 4) и вторым (табл. 5) наблюдениями будут следующие:

$$\Delta h_{У} = 233,92 - 233,47 = +0,45 \text{ м,}$$

$$\Delta h_{О} = 55,30 - 54,86 = +0,44 \text{ м.}$$

Эти разности превышений практически оказались одинаковыми. Таким образом, разность превышений, равная 0,44 мм, является поправкой, которую следует вводить в превышения, полученные с того же пункта (в нашем примере В) в неблагоприятный период.

Так, исправленное превышение за скважину 9 будет равным $h_2 = -162,77 + 0,44 = -162,33 \text{ м}$. Определение этих поправок можно производить по наблюдениям двух пунктов (для контроля).

Постоянство величин разности превышений объясняется большой высотой прохождения визирного луча и небольшим колебанием величины отношения $\frac{s}{h_s}$ для всех направлений.

Таким образом, рассмотренные приемы проведения геодезического нивелирования позволяют:

а) уточнять значение коэффициента рефракции для одностороннего геодезического нивелирования по результатам геометрического нивелирования;

б) увеличивать точность геодезического нивелирования путем введения поправок за различное действие вертикальной рефракции;

в) значительно расширить время геодезического нивелирования в светлое время дня во все времена года.

Все эти способы могут иметь практическое применение в различных случаях инженерной практики, например, привязке скважин, а также при создании опорных геодезических сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изотов А. А. и Пеллинен Л. П. Исследования земной рефракции и методов геодезического нивелирования. Труды ЦНИИГАИК, вып. 102. Геодезиздат, М., 1955.

2. Маслич Д. И. О точности геодезического нивелирования в горных условиях. Львов, 1957.

Работа поступила
19 ноября 1966 г.