

А. Л. ОСТРОВСКИЙ, И. Н. КМЕТКО,  
В. О. ЛИТИНСКИЙ

## ИССЛЕДОВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ РЕФРАКЦИИ В ХОДАХ С ЗАТЯЖНЫМ УКЛОНОМ

Для изучения количественного значения систематических рефракционных погрешностей геометрического нивелирования в ходе с затяжным уклоном были выполнены экспериментальные наблюдения в одном из западных районов УССР.

За два месяца до начала наблюдений по обочине грунтовой дороги была подготовлена трасса длиной в 0,5 км. Ход, ориентированный с юго-востока на северо-запад, намечено нивелировать из 4-й станций. Заложены грунтовые репера на концах трассы по одному, а во всех переходных точках по два — для правой и левой линии нивелирования. Превышения на станциях составили в среднем 1,95 м; общее превышение хода 7,75 м.

В середине хода была оборудована метеостанция, на которой измерялись температура воздуха психрометрами Асмана на высотах 0,5, 1,5 и 2,5 м над землей, барическое давление и скорость ветра.

Геодезические наблюдения выполнялись нивелиром НА-1 и инварными рейками. Приборы были тщательно исследованы в соответствии с действующей инструкцией.

**Программа и объем выполненных наблюдений.** С 16.08 по 22.08 1979 г. в утренние и вечерние видимости производилось нивелирование хода по программе нивелирования I класса (без отсчета по дальномерным нитям). Ежедневно, в среднем, выполнялось по три прямых и обратных хода в каждую видимость.

Метеорологические наблюдения велись в начале и в конце каждого прямого и обратного хода. Средние данные двух метеонаблюдений попадают на средний момент проложения каждого хода. Погода была преимущественно солнечная, иногда — переменная и пасмурная. Температура воздуха колебалась в течение периода наблюдений от +9 до +23° С. Среднее ее значение — +15° С.

**Обработка и анализ результатов исследований.** Вычислены средние значения превышений из правой и левой линий нивелирования по прямым и обратным ходам, а также разности правой и левой линий. Выполнена оценка точности измерений по разностям превышений прямых и обратных ходов. Средняя квадратическая погрешность измеренного превышения на станции  $\pm 0,08$  мм.

Обозначив измеренные значения температуры на высотах 0,5, 1,5 и 2,5 м соответственно  $t_n^o$ ,  $t_c^o$ ,  $t_b^o$ , вычислим разности:

$$\Delta t_b^o = t_b^o - t_c^o; \quad \Delta t_n^o = t_c^o - t_n^o; \quad \Delta t^o = t_b^o = t_n^o.$$

Затем наблюдения были сгруппированы в серии за все даты по средним моментам проложения каждого хода и по погодным условиям. В обработку брались вместе наблюдения в солнечную и переменную погоду и отдельно в пасмурную. Усредненные данные приведены в таблице. По ним построены графики для утренней и вечерней видимостей.

Усредненные результаты экспериментальных наблюдений

$t^h$	$\Delta t_{\text{H}}^{\circ}$	$\Sigma h_{\text{ср}}$ (по ходу) мм	$n$	$\delta \Delta t_{\text{H}}^{\circ}$	$\delta \Sigma h_{\text{ср}}$	Примечание
-------	-------------------------------	---	-----	--------------------------------------	-------------------------------	------------

Солнечно (утренняя видимость)

7,14	+0,01	7745,59	4			
7,42	+0,14	5,46	6			
8,06	-0,07	5,08	2			
8,15	-0,08	5,06	2			
8,50	-0,46	5,04	4	-0,69	-0,60	-0,15/1 ст.
9,14	-0,54	4,96	2			
9,30	-0,66	4,88	2			
9,48	-0,68	4,99	2			

Солнечно (вечерняя видимость)

17,38	-0,01	7744,94	4			
18,08	-0,22	4,19	4			
18,25	-0,12	4,78	4			
18,45	+0,16	5,57	4	+0,39	+1,34	+0,34/1 ст.
19,05	+0,15	5,08	2			
19,32	+0,23	6,01	6			
20,02	+0,38	6,28	2			

Пасмурно (утренняя видимость)

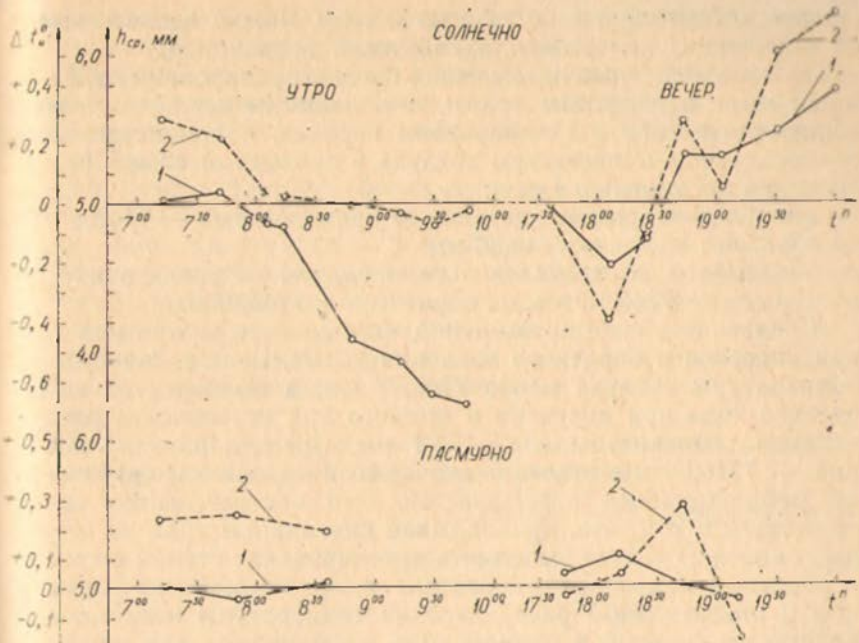
7,12	0,00	7745,48	2			
7,52	-0,04	5,48	2	+0,01	-0,09	-0,02/1 ст.
8,38	+0,01	5,39	2			

Пасмурно (вечерняя видимость)

17,42	+0,05	7744,96	4			
18,12	+0,11	5,09	2			
18,42	0,00	5,58	2	-0,09	-0,32	-0,08/1 ст.
19,12	-0,04	4,64	2			

Примечание.  $t^h$  — средние моменты проложения ходов;  $\Delta t_{\text{H}}^{\circ} = t_{\text{с}}^{\circ} - t_{\text{н}}^{\circ}$ ;  $\delta \Delta t_{\text{H}}^{\circ}$  — изменение значений градиента в течение видимости;  $\Sigma h_{\text{ср}}$  — сумма превышений по ходу;  $\delta \Sigma h_{\text{ср}}$  — изменения значений  $\Sigma h$  в течение видимости;  $n$  — количество ходов в серии.

Была сделана также попытка вычисления поправок за рефракцию по известным формулам, используя измеренные метеоэлементы, однако введение поправок в измеренные превышения не является эффективным средством исключения рефракционных погрешностей.



Зависимость между  $\Delta t_n$  (1) и  $h_{cp}$  (2) в солнечную и пасмурную погоду.

Из приведенных результатов видно, что в утреннюю видимость вертикальный градиент температуры изменяет значения от положительных к отрицательным, переходя через нуль примерно через полтора-два часа после восхода Солнца. Измеренные превышения уменьшаются по абсолютному значению на 0,60 мм. В вечернюю видимость наоборот — температурный градиент переходит от отрицательного к положительному значению, переходя через нуль примерно за 2,5 ч до заката, а значения превышений возрастают, изменяясь в течение видимости на 1,34 мм. Данные изменения превышений в утренние и вечерние периоды относятся к суммам превышений по ходу с затяжным уклоном, который состоит из четырех станций. В пасмурную погоду указанной закономерности не наблюдается.

Отметим также, что среднее значение превышения, рассчитанное на  $\Delta t_n = 0^\circ$ , за утреннюю и вечернюю видимости равно 7745,28 мм, а среднее превышение из наблюдений в пасмурную погоду равно 7745,26 мм. Это обстоятельство свидетельствует о том, что как в пасмурную, так и в солнечную погоду в моменты изотермии измеренные превышения не обременены ошибками рефракционного характера. Учитывая также, что изменения вертикального градиента температуры согласовываются с изме-

нением превышений в солнечную погоду, можно сделать вывод об искажениях измеренных превышений рефракцией.

Затем измеренные превышения были сгруппированы отдельно по прямым и обратным ходам, выполненным исключительно в солнечную погоду в инверсионные периоды и при нормальном распределении температуры воздуха в приземном слое. Средние значения превышений такие:

*инверсия* — среднее значение из прямых ходов — 7745,47 мм, из обратных ходов — 7745,30 мм;

*нормальное распределение температуры* — среднее из прямых ходов — 7745,18 мм, из обратных — 7745,07 мм.

Среднее значение превышений, вычисленное из прямого хода при инверсии и обратного хода при нормальном распределении температуры воздуха равно 7745,27 мм, а вычисленное из обратного хода при инверсии и прямого при нормальном распределении температуры — 7745,24 мм. Среднее из этих значений — 7745,26 мм отвечает значению превышения, свободному от рефракционных погрешностей. Это обстоятельство свидетельствует о том, что, прокладывая нивелирные хода на затяжных склонах, следует выполнять нивелирование секций в прямом и обратном направлениях, равным числом станций при нормальном и инверсионном распределении температуры воздуха, т. е. количество станций в прямом ходе, выполненных при инверсии, должно равняться количеству станций, выполненных в обратном ходе при нормальном распределении температуры, и наоборот.

\* Таким образом, в случае наклонного участка трассы ошибки за рефракцию в превышениях, полученных геометрическим нивелированием, имеют систематический характер и зависят в основном от вертикального градиента температуры. Практически свободными от рефракционных погрешностей будут превышения, измеренные в моменты изотермии и в моменты, близкие к ним.

В районе настоящих исследований моменты изотермии приходятся не на середину периодов утренней и вечерней видимости, а несколько сдвинуты к их началу.

Изменение превышения, рассчитанное на одну станцию в солнечную погоду в данном районе в пределах утренней видимости, равно  $-0,15$  мм, в вечернюю  $+0,34$  мм. В пасмурную погоду систематической зависимости не наблюдается.

Следует освобождать результаты нивелирования от погрешностей за рефракцию, применяя соответствующую методику нивелирования, а именно:

а) в случае пересеченной местности часть прямого хода секции, выполненная при нормальном распределении температуры воздуха, в обратном ходе должна быть выполнена при инверсии, или наоборот;

б) при затяжных наклонных трассах необходимо выполнять нивелирование равным числом станций при нормальном и ин-

версионном распределении температуры воздуха как в прямом, так и в обратном ходе на данной секции.

Характер температурных стратификаций в приземном слое можно определять либо измерением температуры воздуха на двух высотах (0,5 и 1,5 м) либо фиксацией радиационного баланса балансомером.

Эти рекомендации особенно следует учитывать при выполнении специальных высокоточных нивелировок, где требуется достичь наибольшей точности в нивелировании.

Нельзя не учитывать при высокоточном нивелировании характера стратификации приземного слоя атмосферы и изменения в нем вертикального градиента температуры в течение периодов наблюдений. Следует также исключать время со значительными температурными градиентами в начале и в конце этих периодов.

Чем больше уклоны нивелирного хода, тем строже необходимо придерживаться указанных выше рекомендаций.