

# ОСОБЕННОСТИ ТОЧНЫХ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОННЫМИ ТАХЕОМЕТРАМИ

**А.В. Зубов** (Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова)

В 1978 г. окончил маркшейдерский факультет Ленинградского горного института им. Г.В. Плеханова по специальности «прикладная геодезия». С 1978 г. работает в СПГИ, в настоящее время — доцент кафедры инженерной геодезии.

**Т.В. Зубова** (Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова)

В 1980 г. окончила маркшейдерский факультет Ленинградского горного института им. Г.В. Плеханова по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работала во ВНИИ космоаэрогеологических методов. В настоящее время — преподаватель кафедры инженерной геодезии СПГИ.

Последние годы электронные тахеометры широко применяются в инженерно-геодезических работах, не требующих высокой точности измерений. При этом точностные характеристики приборов используются не в полной мере.

Паспортная точность большинства тахеометров для угловых измерений составляет 1,5–3" (0,5–1,0 mgon), для линейных — несколько миллиметров. Это позволяет использовать данные приборы в точных инженерно-геодезических и маркшейдерских работах: при создании плановых деформационных сетей, в полигонометрии 4 класса, при разбивочных работах, при обмере крупногабаритных промышленных объектов и др.

При высоких точностных характеристиках прибора создается иллюзия, что однократного измерения угла или расстояния достаточно для достижения указанной точности. Однако тахеометр может обеспечить паспортную точность только при учете многих факторов и введении различных поправок.

Непосредственно измеряемыми величинами являются: отсчет по горизонтальному кругу, отсчет по вертикальному кругу и наклонное расстояние **D**, остальные величины (горизонтальное проложение **S**, превышение, координаты) вычисляются. Недостаточный учет того или иного фактора влияния может привести к значительной потере точности.

При линейных измерениях в наклонное расстояние **D** тахеометром последовательно вводятся поправки за метеоданные, постоянная прибора и отражателя, после чего, если это требуется, расстояние приводится к горизонту.

Температуру **T** и давление **P** можно ввести в прибор, однако на противоположном конце линии эти параметры могут существенно отличаться. Длина волны  $\lambda$  оптического излучения современных приборов обычно находится в начале инфракрасного диапазона (800–900 нм). При этом для средних метеорологических условий (**T** = +10°C, **P** = 750 мм рт. ст.) численные значения частных производных опреде-

ления показателя преломления воздуха по температуре и давлению примерно равны **K<sub>T</sub>** = +1,0 ppm/1°C и **K<sub>P</sub>** = -0,4 ppm/1 мм рт. ст. соответственно, т. е., с увеличением температуры воздуха на 1°C на каждый километр следует ввести дополнительную поправку +1 мм, а с увеличением давления на 1 мм рт. ст. дополнительная поправка будет в 2,5 раза меньше, и будет иметь противоположный знак.

$$V_T = K_T \times \Delta T \times D = +1,0 \times 10^{-6} \times \Delta T \times D;$$

$$V_P = K_P \times \Delta P \times D = -0,4 \times 10^{-6} \times \Delta P \times D,$$

где **V<sub>T</sub>**, **V<sub>P</sub>** — поправки за изменение температуры  $\Delta T$  и давления  $\Delta P$ .

Влияние **T** и **P** на расстояние выводится во многих приборах на дисплей, например, изменив в тахеометре температуру на 1°C, имеем в информационной строке ppm + 1,0, а изменив давление на 1 мм рт. ст. — ppm + 0,4.

Если в приборе нет данной информационной функции, то коэффициенты влияния (частные производные) **K<sub>T</sub>** и **K<sub>P</sub>** можно с достаточной точнос-

тью определить и самостоятельно. Для этого расстояние, длиной несколько сотен метров, необходимо измерить несколько раз, изменив температуру, а затем давление в достаточно большом диапазоне. Например:

$$K_T = (D_{-10^\circ\text{C}} - D_{+40^\circ\text{C}}) / D_m \times 50^\circ\text{C} = (1000,024 - 999,976) / 1000 \times 50 \approx +0,96 \times 10^{-6};$$

$$K_P = (D_{700} - D_{780}) / D_m \times 80 \text{ мм рт. ст.} = (999,984 - 1000,015) / 1000 \times 80 \approx -0,39 \times 10^{-6}.$$

Рассмотрим пример уточнения расстояния, приведенного на рисунке. На точке **A**, где проводились измерения, определены температура и давление, а затем введены в тахеометр ( $T_A = +15^\circ\text{C}$ ,  $P_A = 740$  мм рт. ст.). В момент измерения на точке **B** температура и давление были иными —  $T_B = +12^\circ\text{C}$ ,  $P_B = 752$  мм рт. ст. Таким образом, метеоданные для середины линии оказались:  $T_m = +13,5^\circ\text{C}$ ,  $P_m = 746$  мм рт. ст.

Уточняющие поправки за температуру и давление будут равны:

$$V_T = +1,0 \times 10^{-6} (T_m - T_A) 1 \times 10^6 = -1,5 \text{ мм};$$

$$V_P = -0,4 \times 10^{-6} (P_m - P_A) 1 \times 10^6 = -2,4 \text{ мм}.$$

Так как расстояние к горизонту приводится тахеометром по формуле  $S = D \cos V$ , то погрешность в определении угла наклона  $V$  (наведение, отсчитывание, место нуля, погрешность компенсатора) может оказаться существенной.

Судя по перепаду давления  $\Delta P = 12$  мм рт. ст. (см. рисунок), превышение между точками **A** и **B** составляет примерно 130 м, а угол наклона  $V = 7,5^\circ$ . При погрешности измерения угла наклона  $\Delta V = 5''$ , погрешность в расстоянии будет:

$$\Delta S = D \sin V \Delta V / \rho'' = 3,2 \text{ мм}.$$

Следовательно, расстояние следует измерять многократно и

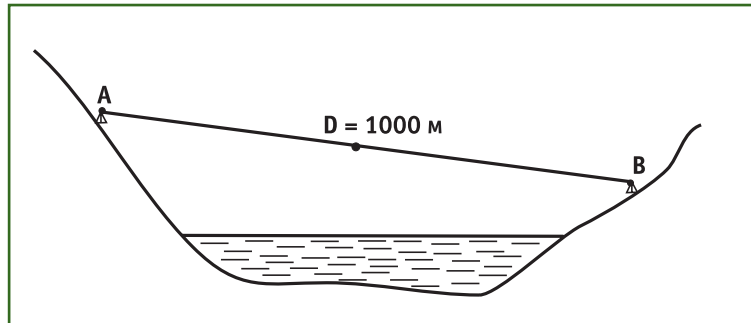


Схема измерения расстояния

обязательно при двух положениях круга.

При коротких расстояниях основное влияние на точность измерений оказывает постоянная (прибора и отражателя).

Современные тахеометры согласованы с отражателями таким образом, что постоянная поправка равна нулю. Если используются отражатели других изготовителей, то необходимо тщательно определить постоянную и ввести ее в прибор. Например, у приборов Carl Zeiss (Trimble) собственная (автоматически учитываемая) постоянная, равная 35 мм. Если другой отражатель имеет постоянную, например, 45 мм, то необходимо ввести поправку  $-0,010$  м. Так, постоянная отражателей в приборах УОМЗ (СМ, СТ-5, Та3, Та5, и др.) обычно составляет 44–47 мм, т. е. поправка от  $-0,009$  до  $-0,012$  м.

Определение приборной постоянной проводилось для различных тахеометров и отражателей на расстояниях 2–10 м по компарированной инварной рулетке и параллактическим методом по рейке Bala (Basis Latte), которая на коротких расстояниях обеспечивала точность 0,2–0,5 мм.

По данным наших исследований, постоянная прибора и отражателя может на несколько миллиметров отличаться от указанной, и не учитывать это при точных измерениях нельзя.

Также как и при линейных измерениях, декларируемая

точность угловых измерений не может быть достигнута однократным измерением угла. Без выполнения нескольких приемов не обойтись (необходимое количество приемов в тех или иных работах требует дополнительных исследований).

По нашему мнению, перестановку нуля лимба горизонтального круга между приемами осуществлять не целесообразно. А так как качество наводящих винтов большинства тахеометров не соответствует требованиям точных измерений, то точность, в основном, зависит от погрешности наведения на визирную цель. По этой причине качество угловых измерений можно повысить многократным наведением на каждую визирную цель.

Методика точных линейных и угловых измерений электронными тахеометрами инструкциями не регламентируется и требует обсуждения и дополнительных исследований.

#### RESUME

In authors' opinion a technique of the precise linear-angular measurements by electronic tacheometers should not be regulated and requires discussion and additional investigation. According to the results of their studies the instrument and the reflector constant may differ by several millimeters from that given in the instrument certificate and must be taken into account for precise measurements.