

МЕТОДИКА ЭТАЛОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ И ТАХЕОМЕТРОВ

Эффективность геодезических технологий, достоверность их результатов во многом зависит от правильности постановки и осуществления метрологического обеспечения средств, способов и методик измерений. Это справедливо и для электронных дальнометров, широко внедряемых в наше время в производство.

Известно, что светодальномерным измерениям свойственны следующие группы ошибок: систематические, случайные и случайно-систематические. Влияние каждой группы ошибок на результаты измерений достаточно глубоко изучены.

Наибольшую сложность учета и исключения представляют ошибки, имеющие характер случайно-систематический. К ним могут быть отнесены фазовые и частотные циклические ошибки. Нами предложена и исследована методика оценки и учета названных ошибок светодальномерных измерений, направленная на повышение основных метрологических свойств электронных дальнометров.

Методика заключается в эталонировании дальнометра с помощью компарированной рулетки непосредственно перед началом и после завершения работ. Эталонирование осуществляется в следующей последовательности. Компарированную рулетку укладывают непосредственно в зоне выполнения работ или в районе, непосредственно прилегающем к названной зоне. Последовательно измеряют метровые интервалы рулетки от 2 до 50 м, причем в первом приеме к метровому интервалу прибавляют один сантиметр, а во втором приеме вычитают один сантиметр. По средней разности значений каждого метрового интервала, полученных по рулетке и по дальнометру, определяют поправки (см. табл.1) по формуле

$$\delta = (D_{P-1} + D_{P+1})/2 - (D_{T-1} + D_{T+1})/2, \quad (1)$$

где D_P – отсчет по рулетке, м;

D_T – отсчет по тахеометру, м.

Следует отметить, что вычисленная поправка в измеренное расстояние включает в себя постоянную отражателя (систематическую ошибку), случайную и случайно-систематическую ошибки измерений:

$$\Delta = P + m_D. \quad (2)$$

При этом заметим, что систематическая ошибка включает в себя интегральную совокупность всех постоянных компонентов процесса измерений. Случайная компонента минимизируется многократностью измерений. Случайно-систематическая составляющая определяется, оценивается ее достоверность и в форме поправок используется для повышения точности измерений длин.

Был выполнен эксперимент по анализу точности дальнометрных измерений с реализацией предложенной методики. Для этого использовали горизонтально уложенную компарированную 50 метровую стальную рулетку. Совмещали ось вращения тахеометра с началом шкалы делений рулетки, переносили вдоль нее отражатель и измеряли горизонтальное проложение прибором. Оценивали суммарное влияние точности измерения дальностей и вертикальных углов на точность определения горизонтальных проложений тахеометром.

Известно, что горизонтальное проложение определяется по формуле

$$D = S \cdot \cos \nu, \quad (3)$$

где D – горизонтальное проложение;

S – наклонное измеренное расстояние;

ν - угол наклона.

Таблица 1

Значения поправок

№	Расстояние	Поправка	№	Расстояние	Поправка	№	Расстояние	Поправка
1	2.0	-0.0302	17	18.0	-0.0268	33	34.0	-0.0343
2	3.0	-0.0308	18	19.0	-0.0322	34	35.0	-0.0360
3	4.0	-0.0314	19	20.0	-0.0335	35	36.0	-0.0344
4	5.0	-0.0307	20	21.0	-0.0331	36	37.0	-0.0343
5	6.0	-0.0313	21	22.0	-0.0328	37	38.0	-0.0355
6	7.0	-0.0315	22	23.0	-0.0338	38	39.0	-0.0361
7	8.0	-0.0319	23	24.0	-0.0330	39	40.0	-0.0353
8	9.0	-0.0319	24	25.0	-0.0334	40	41.0	-0.0346
9	10.0	-0.0316	25	26.0	-0.0334	41	42.0	-0.0365
10	11.0	-0.0323	26	27.0	-0.0319	42	43.0	-0.0368
11	12.0	-0.0328	27	28.0	-0.0328	43	44.0	-0.0375
12	13.0	-0.0331	28	29.0	-0.0327	44	45.0	-0.0373
13	14.0	-0.0326	29	30.0	-0.0332	45	46.0	-0.0365
14	15.0	-0.0328	30	31.0	-0.0364	46	47.0	-0.0349
15	16.0	-0.0319	31	32.0	-0.0355	47	48.0	-0.0361
16	17.0	-0.0327	32	33.0	-0.0343	48	49.0	-0.0372
						49	50.0	-0.0267

Средняя квадратическая ошибка его определения вычисляется согласно выражению

$$m_D^2 = \cos^2(\nu) \cdot m_S^2 + S^2 \cdot \sin^2(\nu) \cdot \left(\frac{m_\nu}{\rho''} \right)^2. \quad (4)$$

Анализ формулы (4) показывает, что максимальное влияние на горизонтальное проложение оказывают ошибки измерения дальности при углах наклона близких к нулю. А влияние ошибок влияния вертикальных углов имеет максимальное влияние при углах наклона близких к 90° .

Данные, полученные в результате эксперимента, приведены в табл. 2.

В разность отсчетов по рулетке и по тахеометру были введены поправки аттестации рулетки и тарирования тахеометра.

$$\nu = D_p - D_{\text{тах}} + \Delta_p + \Delta_{\text{тах}} \quad (5)$$

Средняя квадратическая ошибка результатов измерения расстояний вычислялась по формуле Гаусса и составила:

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n}} = 1.19 \text{ мм}.$$

Паспортное значение средней квадратической ошибки измерений расстояний соответствует 2 мм. Таким образом при использовании электронного тахеометра Set 500 на расстояниях до 50 м обеспечивается точность измерения горизонтальных проложений порядка 1.2 мм, что примерно в 1,7 раза меньше паспортных значений точности.

Контрольные измерения

№	Отсчет по рулетке	Исправленный отсчет по рулетке	Отсчет по тахеометру	$D_p - D_T = \delta$	Δ	$\delta - \Delta = v$	v_v , мм
1	11.96	11.9566	11.9881	-0.0315	-0.0328	0.0013	1.69
2	16.83	16.8252	16.8570	-0.0318	-0.0327	0.0009	0.81
3	18.735	18.7297	18.7617	-0.0320	-0.0335	0.0015	2.25
4	20.975	20.9691	21.0033	-0.0342	-0.0328	-0.0014	1.96
5	22.575	22.5686	22.6021	-0.0335	-0.0330	-0.0005	0.25
6	23.26	23.2534	23.2868	-0.0334	-0.0330	-0.0004	0.16
7	24.325	24.3181	24.3527	-0.0346	-0.0334	-0.0012	1.44
8	26.72	26.7124	26.7467	-0.0343	-0.0319	-0.0024	5.76
9	27.765	27.7571	27.7901	-0.0330	-0.0328	-0.0002	0.04
10	27.80	27.7921	27.8255	-0.0334	-0.0328	-0.0006	0.36
11	29.15	29.1418	29.1757	-0.0339	-0.0327	-0.0012	1.44
12	30.87	30.8613	30.8946	-0.0333	-0.0364	0.0031	9.61
13	32.00	31.9909	32.0257	-0.0348	-0.0355	0.0007	0.49
14	32.755	32.7457	32.7810	-0.0353	-0.0343	-0.0010	1.00
15	34.365	34.3553	34.3912	-0.0359	-0.0343	-0.0016	2.56
16	35.00	34.9901	35.0248	-0.0347	-0.0360	0.0013	1.69
17	36.915	36.9046	36.9384	-0.0338	-0.0343	0.0005	0.25
18	37.965	37.9543	34.9890	-0.0347	-0.0355	0.0008	0.64
19	39.065	39.0539	39.0900	-0.0361	-0.0361	0.0000	0
20	39.71	39.6988	39.7343	-0.0355	-0.0353	-0.0002	4
21	39.68	39.6688	39.7046	-0.0358	-0.0353	-0.0005	0.25
22	41.14	41.1284	41.1642	-0.0358	-0.0346	-0.0012	1.44
23	44.85	44.8373	44.8748	-0.0375	-0.0373	-0.0002	0.04
24	49.47	49.4560	49.4930	-0.0370	-0.0372	0.0002	0.04
25	48.90	48.8862	48.9236	-0.0374	-0.0372	-0.0002	0.04

Примечание. Исследуемым тахеометром является Set 500

По вышеописанной методике были исследованы электронные тахеометры TC-1700, Elta 3603 DR, Elta 3602, Elta S-10, для каждого из них получено, что введение поправок обеспечивает повышение точности в 2 раза. Так же, проведены исследования определения точности пространственных координат этими же тахеометрами с реализацией описанной методики.

Первоначально для анализа точности определения пространственных координат использовали рабочие формулы вычисления координат операционной системой электронных тахеометров

$$h = s \cdot \sin v ; \quad \Delta x = s \cdot \cos \alpha ; \quad \Delta y = s \cdot \sin \alpha .$$

Исследуя данные функции, нашли зависимости, по которым оцениваются их средние квадратические ошибки

$$dh = ds \cdot \sin v + s \cdot \cos v \cdot dv ; \quad d\Delta x = ds \cdot \cos \alpha - s \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha ; \quad d\Delta y = ds \cdot \sin \alpha + s \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha ;$$

$$m_h^2 = m_s^2 \cdot \sin^2 v + s^2 \cdot \cos^2 v \cdot \frac{m_v^2}{\rho^2} ;$$

$$m_{\Delta x}^2 = m_s^2 \cdot \cos^2 \alpha + s^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} ;$$

$$m_{\Delta y}^2 = m_s^2 \cdot \sin^2 \alpha + s^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} ,$$

где s – длина линии;

v, α – вертикальный и горизонтальный угол;

h – превышение;

$\Delta x, \Delta y$ – приращения координат;

m^2 – средняя квадратическая ошибка определения $h, \Delta x, \Delta y$.

Используя вышеприведенные формулы, построили график зависимости средней квадратической ошибки от точности измерений углов и расстояний, и величины измеренного угла. В варьировании приняли следующие параметры. Горизонтальные и вертикальные углы изменяли в пределах от 0 до 180°. Расстояние приняли равным 50 м. Результаты вычислений представлены в графическом виде на рис. 1.

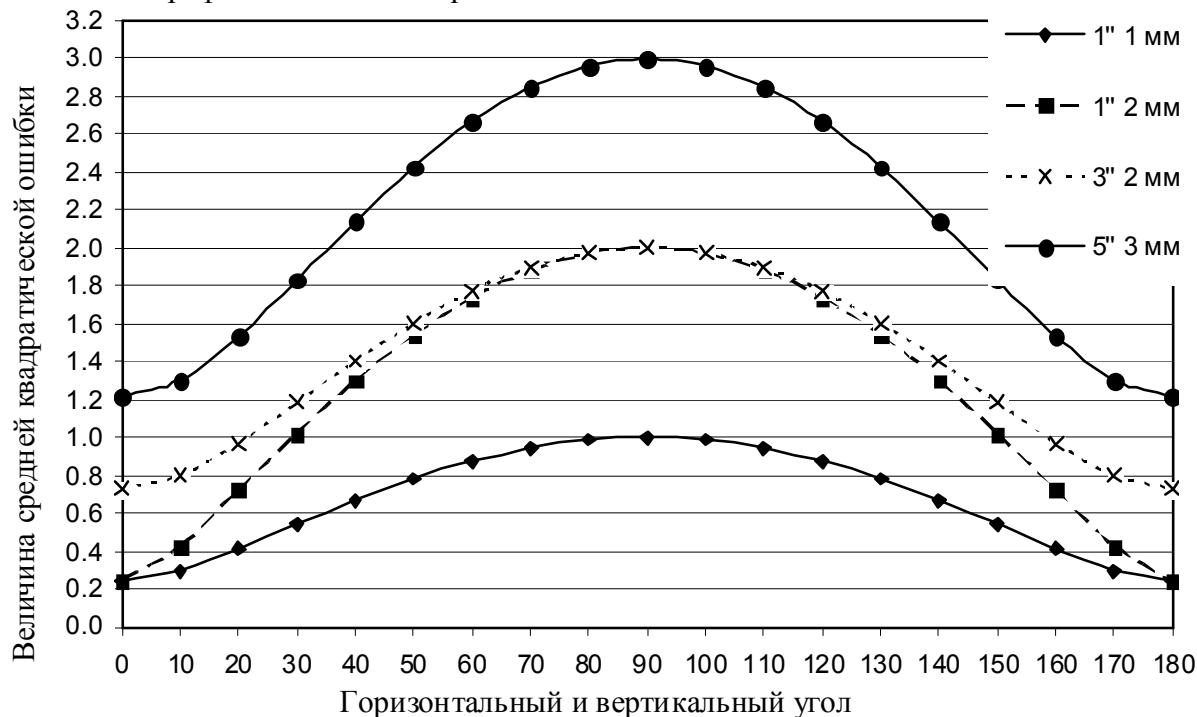


Рис. 1. Результаты предрасчета точности для m_y и m_z

Затем провели натурные исследования электронных тахеометров с использованием предложенной, см. рис. 2.

Из представленных аналитических и графических результатов исследований видно,

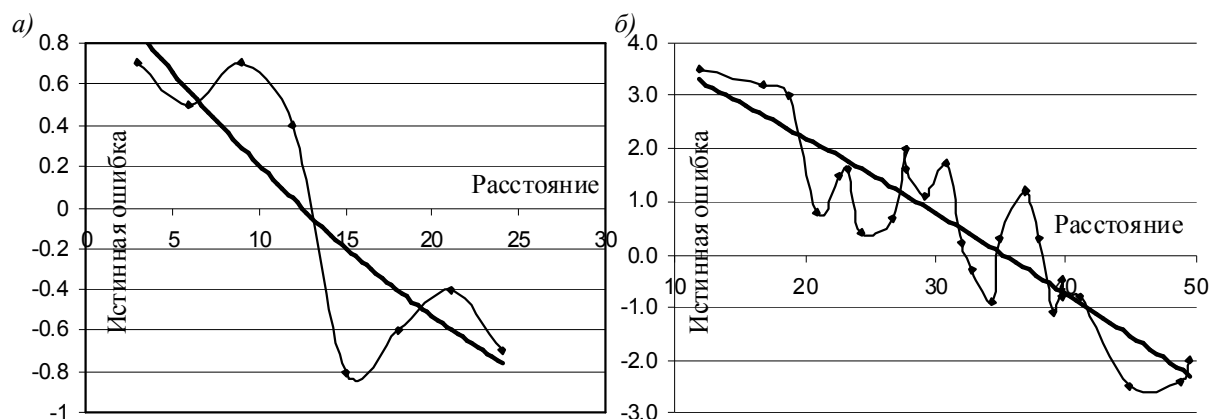


Рис. 2. Результаты исследований по определению средних квадратических ошибок измерения координат, соответственно: а) TC1700, б) SET500

что точность определения пространственных координат электронными тахеометрами при реализации предложенной методики повышается более чем в два раза.