

УДК 528.021.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ЭЛЕКТРОННЫМИ ТАХЕОМЕТРАМИ В БЕЗОТРАЖАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

*Антон Викторович Никонов*

ОАО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, инженер-геодезист, e-mail: sibte@bk.ru

В статье приведены результаты лабораторных исследований точности измерения расстояний электронным тахеометром в безотражательном режиме. Средние квадратические ошибки измерения расстояний ( $S \leq 20$  м) не превышают 1 мм. Установлено, что применение пленочных отражателей повышает точность измерения расстояний. Повышение числа приемов ( $n > 3$ ) при измерении расстояний не приводит к заметному повышению точности. Предложена схема безбазисного способа определения постоянной дальномера без использования отражателей. Даны рекомендации по выполнению высокоточного тригонометрического нивелирования I и II класса способом из середины. Доказывается, что высокоточное нивелирование тахеометрами в некоторых случаях может выполняться при углах наклона более  $3^\circ$ .

**Ключевые слова:** тахеометр, пленочный отражатель, тригонометрическое нивелирование, точность.

## STUDY OF REFLECTIONLESS TOTAL STATIONS DISTANCE MEASUREMENT ACCURACY

*Anton V. Nikonov*

«Sibtechenergo», 630032, Russia, Novosibirsk, 18/1 Planirovochnaya St., Geodetic engineer, e-mail: sibte@bk.ru

Laboratory research results as regards accuracy of distance measurement by reflectionless total stations are presented. Mean square error of distance measurement ( $S \leq 20$  m) is 1mm, max. It has been found that application of film reflectors improves accuracy of distance measurements. The growing number of observation sessions ( $n > 3$ ), in process of distance measurement, does not result in noticeable improvement of accuracy. The technique for determining stadia constant without reference baseline and reflectors is offered. Recommendations on precise trigonometric first- and second-order leveling “from the middle” are given. It is proved that precise leveling by total station in some cases may be conducted with inclination angle exceeding  $3^\circ$ .

**Key words:** total station, film reflector, trigonometric leveling, accuracy.

Для формирования массива геопространственных данных, особенно для небольших территорий, широко применяется метод электронной тахеометрии, который позволяет автоматизировать процессы сбора, передачи и обработки данных измерений [1]. С появлением у электронных тахеометров функции безотражательного режима измерения расстояний область их применения значительно расширилась. Такие тахеометры применяют при производстве исполнительных съемок фасадных систем зданий любой этажности [2], при мониторинге инженерных сооружений, выверке технологического оборудования и в других областях [3–5].

Результаты исследований точности измерения расстояний в безотражательном режиме в зависимости от характера поверхности отражения и угла падения луча представлены в статьях [6, 7]. Для большинства поверхностей (строительных материалов) значение критического угла между лазерным лучом и плоскостью отражающей поверхности составляет  $40^\circ$  (кроме оцинкованных поверхностей) [6]. При использовании отражательных пленок предельный угол падения луча для расстояний до 200 м составляет  $60\text{--}70^\circ$ , но углы падения более  $40\text{--}50^\circ$  нежелательны из-за появления в измеряемых расстояниях систематической ошибки [7]. Влияние цвета визирной цели на точность измерения расстояний описано в работах [8, 9]. Цвет отражающей поверхности не критически влияет на точность измерения расстояний, однако измерения на черный образец в некоторых случаях не могли быть выполнены вовсе (слабая отражающая способность). С увеличением расстояния от тахеометра до цели (от 5 до 60 м) средняя квадратическая ошибка (СКО) измерения расстояния возрастает (с 0,1 до 0,7 мм) [8]. Так как оценка точности выполнена по внутренней сходимости, увеличение СКО измерения расстояния говорит лишь об увеличении дисперсии полученных результатов, а реальная точность измерения расстояний остается неизвестной.

Для выполнения большинства геодезических работ ошибка измерения расстояний в безотражательном режиме, указанная в паспорте прибора ( $m_s = 2,0$  мм), является приемлемой. Однако, принимая  $m_s = 2,0$  мм при выполнении предрасчета точности тригонометрического нивелирования короткими лучами, для достижения СКО измерения превышения на станции  $m_{\text{ст}} \leq 0,5$  мм, приходится ограничивать величину угла наклона визирного луча  $3^\circ$  [10, 11], что заметно ограничивает возможности тригонометрического нивелирования I – II классов [12]. В целях совершенствования методики высокоточного тригонометрического нивелирования нами были выполнены лабораторные исследования точности измерения расстояний электронным тахеометром при длине визирного луча до 20 м.

На начальном этапе исследований была поставлена задача определения возможности измерения тахеометром разностей расстояний, величины которых не превышают 2,0 мм, т. е. паспортной точности прибора. Посредством струбицы на колонне был закреплен штангенциркуль с ценой деления нониуса 0,05 мм, на подвижной части которого была установлена пластина из пластика. С расстояний 2,7; 13,9; 27,9 м тахеометром Leica TS-02 производились дальномерные измерения на пластину в безотражательном режиме. Пластина смещалась на величины от 0,3 до 1,2 мм. Для каждого положения пластины выполнялось 10 последовательных измерений расстояния, среднее из которых принималось в обработку. Были подсчитаны СКО по формуле Гаусса. Средняя квадратическая ошибка по внутренней сходимости для расстояний 2,7 и 13,9 м составила 0,09 мм, а для расстояния 27,9 м – 0,15 мм. Эмпирически установлено, что для расстояний 2,7 и 13,9 м значения расстояний при многократных измерениях в основном изменяются в пределах 0,3 мм, а для расстояния 27,9 м – в пределах

0,5 мм. Таким образом, можно утверждать, что значения измеряемых тахеометром расстояний имеют небольшое рассеяние (дисперсию), но не исключено наличие систематической составляющей ошибки. Повышение числа приемов ( $n > 3$ ) при измерении расстояний не приводит к заметному повышению точности. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты дальномерных измерений на пластину, мм

$S = 2,7 \text{ м}$			$S = 13,9 \text{ м}$			$S = 27,9 \text{ м}$		
Шт.	Тахеом.	$\Delta = \text{Ш} - \text{Т}$	Шт.	Тахеом.	$\Delta = \text{Ш} - \text{Т}$	Шт.	Тахеом.	$\Delta = \text{Ш} - \text{Т}$
0	2 743,18	–	0	13 886,39	–	0	27 870,83	–
+0,5	2 743,83	–0,15	0,3	13 886,73	–0,04	+0,5	27 870,66	+0,67
+0,5	2 744,34	–0,01	0,2	13 886,80	+0,13	+0,5	27 871,14	+0,02
+0,5	2 744,88	–0,04	1,0	13 887,80	0,0	+1,0	27 872,09	+0,05
+0,3	2 745,16	+0,02	0,5	13 888,32	–0,02	+1,0	27 873,06	+0,03
+1,2	2 746,41	–0,05	0,2	13 888,57	–0,05	+0,5	27 873,66	–0,10
+0,4	2 746,90	–0,09	0,3	13 888,83	+0,04	+0,5	27 874,23	–0,07
+0,6	2 747,59	–0,09	0,5	13 889,52	–0,19	+0,5	27 874,90	–0,17
–1,2	2 746,36	+0,03	0,3	13 889,61	+0,21	+0,5	27 875,50	–0,10
–0,5	2 745,78	+0,08	0,2	13 890,08	–0,27	+0,3	27 875,71	+0,09
–	–	–	0,5	13 890,32	+0,26	+1,2	27 877,02	–0,11
$\Sigma$	–	–0,30	–	–	+0,07	–	–	+0,31
$ \text{ср.} , \text{ мм}$	–	0,06	–	–	0,12	–	–	0,14
$m_{\Delta}, \text{ мм}$	–	0,07	–	–	0,16	–	–	0,23

Из табл. 1 видно, что при расстояниях до 30 м дальномер тахеометра в большинстве случаев способен зафиксировать приращения расстояний величиной, не превышающей паспортную точность прибора 2,0 мм. Это можно объяснить тем, что измеряемые при разных положениях визирной цели расстояния – величины однородные, т. е. близкие по числовым значениям, имеющие одно общее направление и определяемые при практически одинаковых внешних условиях [13].

На следующем этапе исследований тахеометром определялись разности расстояний величиной от 1 до 4 м на компараторе СГУГиТ, в соответствии с рис. 1. Измерения расстояний выполнялись на цели, закрепленные на тележке,

которая перемещалась на участке длиной 12 м. Значения интервалов, на которые смещалась тележка, фиксировались интерферометром с дискретностью до 0,000 1 мм и принимались за эталонные ( $\Delta_3$ ). При наведении на каждую цель записывались значения отсчетов по вертикальному и горизонтальному кругу, которые использовались для приведения измеренных расстояний к горизонту и к створу.

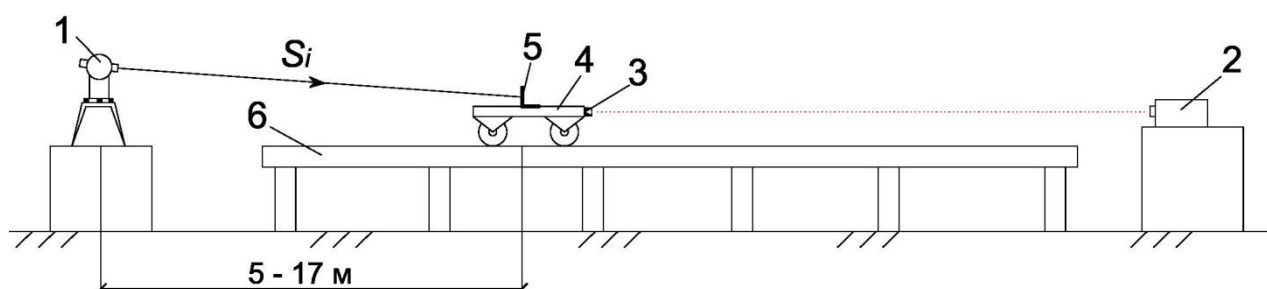


Рис. 1. Схема измерения расстояний на компараторе СГУГиТ:

1 – тахеометр; 2 – лазерный интерферометр; 3 – уголкового отражатель;  
4 – тележка; 5 – визирная цель; 6 – направляющие тележки

В качестве целей использовались: стальной брусок (наведение на рельефную маркировку); металлический уголок (гладкая поверхность); отражательная пленка (рис. 2). Измерения на пленку выполнялись в двух режимах: безотражательном и «на пленку». Ошибки интервалов представлены в табл. 2.

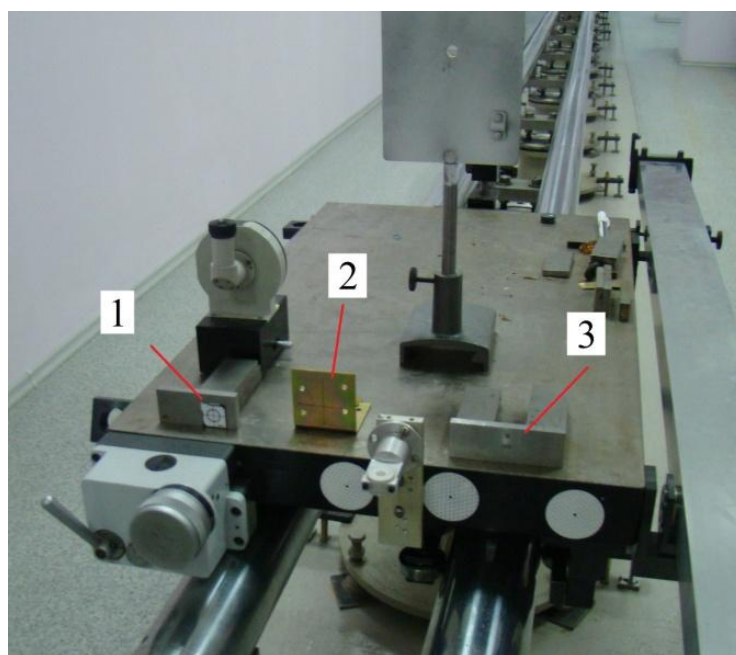


Рис. 2. Визирные цели, закрепленные на тележке:

1 – отражательная пленка; 2 – уголок; 3 – стальной брусок

Таблица 2

Результаты измерений расстояний на компараторе СГУГиТ

Положение тележки	$S_i$ , м	$\Delta$ , м	$\Delta = \Delta_{\text{э}} - \Delta_{\text{тах}}$ , мм				
			пленка безотр.	пленка	уголок	брусек	среднее по всем целям
1	4,7	–	–	–	–	–	–
2	5,8	+1,1	+1,61	+0,57	+0,91	–1,67	+0,36
3	7,8	+2,0	–	+0,11	–0,53	–0,69	–0,37
4	10,8	+3,0	–	–0,26	+0,30	+0,72	+0,25
5	14,7	+3,9	–0,87	+0,49	–0,03	+0,65	+0,06
6	16,8	+2,1	+0,12	–0,14	–0,64	–1,05	–0,43
7	14,4	+2,4	–0,70	+0,22	–0,98	–0,83	–0,57
8	12,5	–1,9	–0,07	–0,01	+0,56	+0,08	+0,14
9	10,6	–1,9	+1,11	+0,18	–0,61	+0,06	+0,19
10	9,5	–1,1	–0,18	+0,11	+0,95	+0,36	+0,31
11	8,6	–0,9	–0,22	–0,16	–0,90	–0,07	–0,33
12	5,5	–3,1	–1,19	+0,09	+1,00	–0,67	–0,19
ср. , мм			0,67	0,21	0,67	0,62	0,29
max, мм			+1,61	+0,57	+1,00	+0,72	+0,36
min, мм			–1,19	–0,26	–0,98	–1,67	–0,57
$\Sigma$ , мм			–0,39	+1,20	+0,03	–3,11	–0,59
$m_{\Delta}$ , мм			0,86	0,27	0,74	0,77	0,32
$m_S = m_{\Delta} / \sqrt{2}$ , мм			0,60	0,19	0,52	0,55	0,23

Из табл. 2 следует, что средняя квадратическая ошибка измерения расстояния в режиме «на пленку», при использовании в качестве визирной цели отражательной пленки (ОП), в три раза меньше, чем при измерении расстояний в безотражательном режиме, и составляет 0,2 мм. Ошибки определения интервалов при визировании на пленку в основном не превышают 0,5 мм, для безотражательного режима не превышают 1,7 мм. Следует иметь в виду, что ошибки смежных интервалов ( $\Delta$ ) зависимы, так как находятся с использованием одного и того же значения расстояния.

Используя результаты наших исследований, произведем предрасчет точности тригонометрического нивелирования. Пренебрегая ошибками за наклон визирной цели и влияние внешних условий, средняя квадратическая ошибка (СКО) измерения превышения между визирной осью трубы и осью визирной марки находится как

$$m_h = \sqrt{m_s^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \alpha}, \quad (1)$$

где  $m_s$  – СКО наклонного расстояния;  $m_\alpha$  – СКО угла наклона;  $S$  – длина визирного луча.

Ошибка определения превышения на станции ( $m_{ст}$ ) находится как

$$m_{ст} = m_h \sqrt{2}. \quad (2)$$

Принимая  $m_\alpha = 2,0''$ ,  $S = 10$  м, найдем ошибку измерения превышения на станции в зависимости от точности измерения расстояний и величины угла наклона, результаты поместим в табл. 3. Используя результаты исследований с вероятностью 95 %, можно утверждать, что при измерении коротких расстояний (до 20 м)  $m_{s(п)} \leq 0,5$  мм (при использовании пленочных отражателей) и  $m_{s(б)} \leq 1,2$  мм (для безотражательного режима).

Таблица 3

Средняя квадратическая ошибка измерения превышения на станции методом тригонометрического нивелирования, мм

$m_s$ , мм	Угол наклона				
	2°	5°	10°	15°	30°
0,5	0,13	0,15	0,18	0,23	0,37
1,0	0,15	0,18	0,28	0,39	0,71
1,5	0,16	0,23	0,39	0,56	1,07
2,0	0,17	0,28	0,51	0,74	1,42

По аналогии с геометрическим нивелированием будем считать, что точность тригонометрического нивелирования на станции будет соответствовать I классу [12], при условии  $m_{ст} \leq 0,15$  мм. Из табл. 3 следует, что для достижения точности I класса необходимо измерять превышение на станции двумя приемами и использовать в качестве визирных целей отражательные пленки, при этом длину плеч следует ограничить величиной 10 м, а углы наклона величиной 15°. При измерении превышений с визированием на штрих нивелирной рейки (безотражательный режим) для достижения условия  $m_{ст} \leq 0,15$  мм углы наклона следует ограничить величиной 5°.

При измерении превышения на станции взаимное положение измеряемых точек по высоте может быть различным (рис. 3). Для упрощения рассуждений визирные цели расположены в одной вертикальной плоскости.



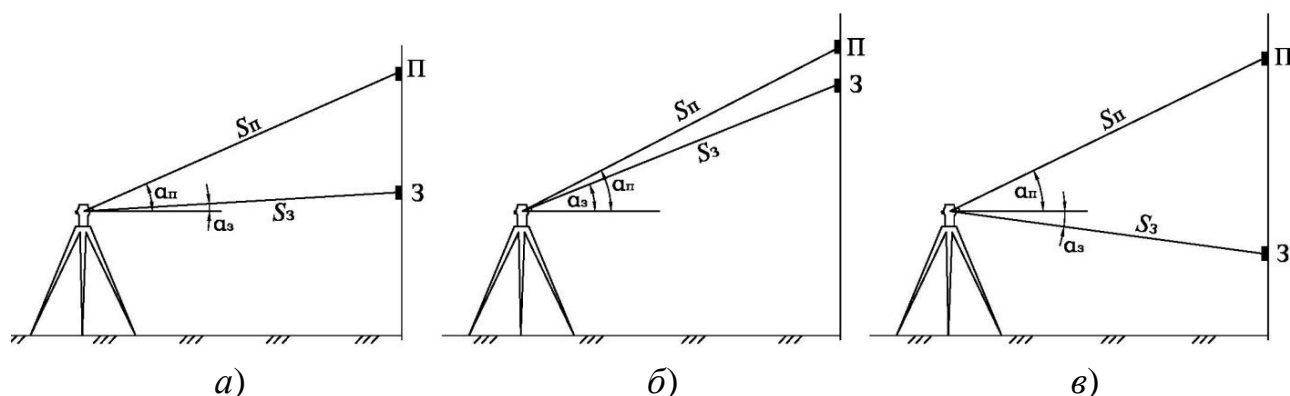


Рис. 3. Положение измеряемых точек при нивелировании тахеометром

Если расстояние, измеренное тахеометром, содержит систематическую ошибку ( $\delta_S$ ), то измеренное на станции превышение будет также включать систематическую ошибку, которая находится как

$$m_{h(\delta)} = \delta_S \cdot \sin \alpha_{\Pi} - \delta_S \cdot \sin \alpha_3, \quad (3)$$

где  $\alpha_{\Pi}$  и  $\alpha_3$  – углы наклона на переднюю и заднюю цели соответственно.

Расчет по формуле (3) для разных углов наклона и ошибок измерения расстояний представлен в табл. 4. Полужирным шрифтом выделены случаи, когда точность измерения превышения на станции соответствует I классу.

Таблица 4

Систематическая ошибка превышения  $m_{h(\delta)}$ , мм

Вариант положения целей	Угол наклона		$\delta_S$ , мм			
	$\alpha_3$	$\alpha_{\Pi}$	0,5	1,0	1,5	2,0
а	0°	+5°	<b>0,04</b>	<b>0,09</b>	<b>0,13</b>	<b>0,17</b>
	0°	+10°	<b>0,09</b>	<b>0,17</b>	0,26	0,35
	0°	+15°	<b>0,13</b>	0,26	0,39	0,52
б	+15°	+18°	<b>0,02</b>	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	<b>0,10</b>
	+15°	+20°	<b>0,04</b>	<b>0,08</b>	<b>0,12</b>	<b>0,16</b>
	+15°	+25°	<b>0,08</b>	<b>0,16</b>	0,24	0,33
в	-5°	+5°	<b>0,09</b>	<b>0,17</b>	0,26	0,35
	-8°	+7°	<b>0,13</b>	0,26	0,39	0,52
	-10°	+10°	<b>0,17</b>	0,35	0,52	0,69

Из результатов предрасчета (см. табл. 4) следует, что в случае, когда одна визирная цель находится примерно на уровне горизонта ( $\alpha \approx 0^\circ$ ), для достижения точности I класса угол наклона на вторую цель следует ограничить  $10^\circ$ , если  $\delta_s \leq 1,0$  мм (рис. 3, а). Если обе цели находятся выше или ниже оси вращения трубы (рис. 3, б), то следует ограничить разницу в значениях углов наклона на обе цели величиной  $5\text{--}10^\circ$ , при этом углы наклона могут достигать  $20\text{--}30^\circ$ . В случае, если одна цель выше оси вращения трубы, а вторая – ниже (рис. 3, в), разница углов наклона не должна превышать  $10^\circ$ , а при использовании отражательных пленок –  $20^\circ$ .

Наличие систематической ошибки в измеренных расстояниях ( $\delta_s$ ) может быть выявлено следующим образом. На расстоянии  $\sim 20\text{--}30$  м друг от друга закрепляются вертикально две пластины  $A$  и  $B$  (например визирные марки, применяемые в полигонометрии, рис. 4, б), расстояния между которыми измеряют в безотражательном режиме с точки  $C$ , расположенной приблизительно в створе  $AB$  и равноудаленной от  $A$  и  $B$  (рис. 4, а), и с точки  $D$ , расположенной приблизительно на продолжении створа  $AB$  (рис. 4, в). На точках  $C$  и  $D$ , кроме расстояний, измеряются углы наклона и горизонтальные углы ( $\alpha$  и  $\beta$ ). Углы наклона используют для вычисления горизонтальных проложений, горизонтальные углы – для вычисления длины отрезка  $AB$  (по теореме косинусов при решении треугольника  $ABC$ ).

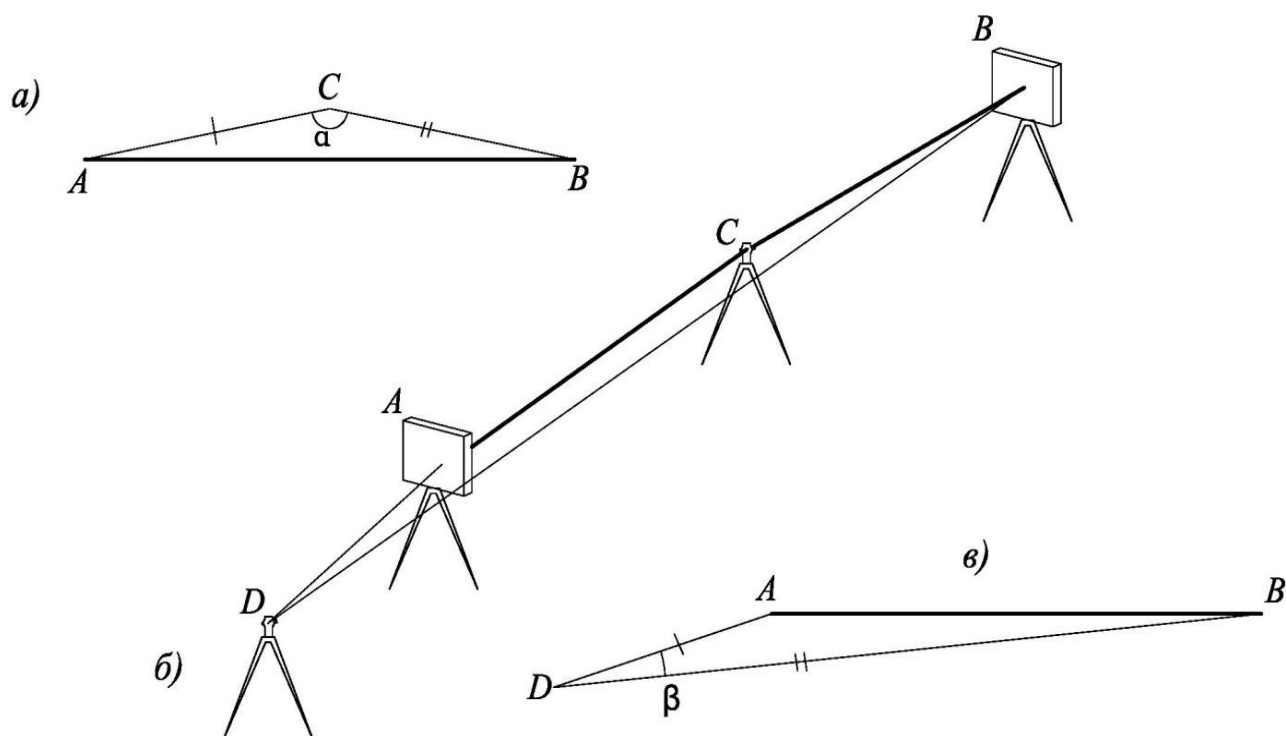


Рис. 4. Схема измерений при определении постоянной поправки дальномера



Тогда систематическая ошибка  $\delta_s$  (постоянная дальномера) будет найдена по формуле

$$\delta_s = \frac{AB_D - (AB_C + d)}{2}, \quad (4)$$

где  $AB_D$ ,  $AB_C$  – длина отрезка  $AB$ , определенная по измерениям с пунктов  $D$  и  $C$  соответственно;  $d$  – толщина визирной марки (пластины), измеряемая штангенциркулем.

Если найденная из многократных измерений ошибка  $\delta_s > 0,5$  мм, то она должна учитываться путем изменения постоянной поправки дальномера в памяти прибора. По такой же схеме можно исследовать дальномерную часть лазерного трекера, так как при оценке точности определения координат по внутренней сходимости не учитываются систематические ошибки [14].

Тригонометрическое нивелирование короткими лучами успешно применяется на промышленных предприятиях и в городских условиях при наблюдениях за осадками зданий и сооружений [15–19]. Использование компактных визирных целей позволяет добиться наивысшей точности измерений ( $m_{ст} \leq 0,25$  мм) и проводить работы одному исполнителю [20].

Точное измерение расстояний (или разности расстояний) в безотражательном режиме важно при установке технологического оборудования в проектное положение [21, 22], мониторинге деформационных процессов [23], а также при выполнении лазерного сканирования [24–26].

На основании проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы:

1. Точность измерения расстояний электронными тахеометрами Leica при использовании отражательных пленок (в режиме «на пленку») в три раза выше, чем при работе в безотражательном режиме. Длины линий до 20 м могут быть измерены со средней квадратической ошибкой до 1,0 мм без использования отражателя.

2. Тригонометрическое нивелирование, выполняемое электронными тахеометрами ( $m_a \leq 2,0''$ ;  $m_s \leq 2,0$  мм) способом из середины, соответствует точности измерений I класса ( $m_{ст} \leq 0,15$  мм) при длине плеч до 10 м и углах наклона до 10–15° (при использовании в качестве визирных целей пленочных отражателей). При работе в безотражательном режиме для надежности получаемых результатов углы наклона целесообразно ограничить 5°.

3. Тригонометрическое нивелирование способом из середины соответствует точности измерений II класса ( $m_{ст} \leq 0,25$  мм) при длине плеч до 20 м и углах наклона до 10–15°.

4. Высоточные измерения превышений с использованием тахеометра могут быть выполнены даже при углах наклона в 20–30°, при условии, что углы наклона на заднюю и переднюю цели имеют один знак и не отличаются друг от друга более чем на 5° для I класса и 10° для II класса точности.

5. Наличие на геодезических предприятиях различных моделей электронных тахеометров требует от исполнителей проведения исследований конкретного прибора до начала выполнения высокоточных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: монография. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 252 с.
2. МДС 11-20.2009. Методика высокоточной бесконтактной исполнительной съемки навесных фасадных систем с воздушными зазорами при возведении высотных зданий. – М.: ОАО «ЦПП», ООО «Тектоплан», 2010. – 41 с.
3. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Технологическая схема геодезического обеспечения реконструкции гидрогенератора // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 1. – С. 46–51.
4. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики / Г. А. Уставич, Г. Г. Китаев, А. В. Никонов, В. Г. Сальников // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 49–54.
5. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Фролов И. С. Геодезический мониторинг и проверка металлургического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 132–143.
6. Назаров И. А. Исследование влияния угла падения лазерного луча и отражающих свойств поверхности на точность измерения расстояний безотражательным электронным тахеометром // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2011. – Вып. 2 (16). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=548>
7. Кузнецов А. И., Моисеенко С. А., Савин М. С. Определение зависимости систематической погрешности измерения расстояний от угла разворота пленочного отражателя // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. – 2011. Вып. 3 (17). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=631>
8. Ашраф А. А. Бешр. Исследование влияния угла наклона и цвета отражающих поверхностей на точность измерений безотражательным тахеометром // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск: СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 202–206.
9. Testing of accuracy of reflectorless distance measurement of selected Leica and Topcon total stations / I. Mazalova, K. Valentova, L. Vlckova // GeoScience Engineering. – 2010. – Vol. LVI, № 1. – P. 19–26. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://gse.vsb.cz/2010/LVI-2010-1-19-26.pdf>
10. Ворошилов А. П. Измерение осадок зданий и сооружений электронными тахеометрами // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2005. – Вып. 3. – № 13. – С. 37–39.
11. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом / Г. А. Уставич, М. Е. Рахымбердина, А. В. Никонов, С. А. Бабасов // Геодезия и картография. – 2013. – № 6. – С. 17–22.
12. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений [Электронный ресурс] : Межгос. стандарт. – Введ. 01.07.2013. – М.: Стандартинформ, 2014. – 22 с. – [Электронный ресурс]. URL: <http://standartgost.ru/ГОСТ%2024846-2012#page-1>.
13. Соустин В. Н. О точности определения разностей расстояний // Геодезия и картография. – 2005. – № 1. – С. 11–13.

14. Исследования зависимости погрешностей геодезических измерений в продольном и поперечном направлениях относительно визирного луча API TRACKER3 от расстояния / А. В. Полянский, Д. Б. Буренков, П. П. Мурзинцев, Ю. А. Пупков, Л. Е. Сердаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 1. – С. 3–6.
15. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдений за осадками сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–86.
16. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
17. Беспалов Ю. И., Дьяконов Ю. П., Терещенко Т. Ю. Наблюдение за осадками зданий и сооружений способом тригонометрического нивелирования // Геодезия и картография. – 2010. – № 8. – С. 8–10.
18. Маконкова Н. С., Адигамов Р. Ш., Нечаева Е. А. Геодезические измерения при обследовании зданий и сооружений // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2014. – № 3. – С. 17–21.
19. Нестеренок М. С. Обоснование методики и точности геодезических наблюдений за деформациями здания книгохранилища национальной библиотеки Республики Беларусь в период эксплуатации // Вестник БНТУ. – 2006. – № 6. – С. 12–15.
20. Никонов А. В. Конструкция визирной цели для выполнения высокоточного тригонометрического нивелирования // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 2 (26). – С. 19–26.
21. Хасенов К. Б., Гольцев А. Г., Салпышев О. Д. Выверка строительных конструкций с использованием лазерных приборов // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 14–17.
22. Хасенов К. Б., Гольцев А. Г., Салпышев О. Д. Монтаж аппаратов вертикального типа // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 4 (20). – С. 14–17.
23. Статистическое исследование перемещений подпорных стенок по результатам геодезических измерений / Р. В. Шульц, А. А. Анненков, А. М. Хайлак, В. С. Стрилец // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 35–53.
24. Особенности наземного лазерного сканирования для мониторинга железнодорожных тоннелей / А. В. Середович, А. В. Иванов, Т. А. Широкова, А. В. Антипов, А. В. Комиссаров // Вестник СГГА. – 2010 – Вып. 1 (12). – С. 28–34.
25. Высокоточная съемка архитектурных памятников Венеции лазерной системой RIEGL VMX-250 / Николас Штудницка, Геральд Зах, Филипп Амон, Мартин Пфеннигбауэр // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 2 (15). – С. 16–29.
26. Неволин А. Г., Медведская Т. М. Обработка результатов наземного лазерного сканирования с учетом коэффициента отражения сигнала // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 47–53.

Получено 11.02.2015

© А. В. Никонов, 2015