

И. С. ТРЕВОГО, В. О. ЛИТИНСКИЙ

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ОБРАЗЦОВЫХ БАЗИСОВ

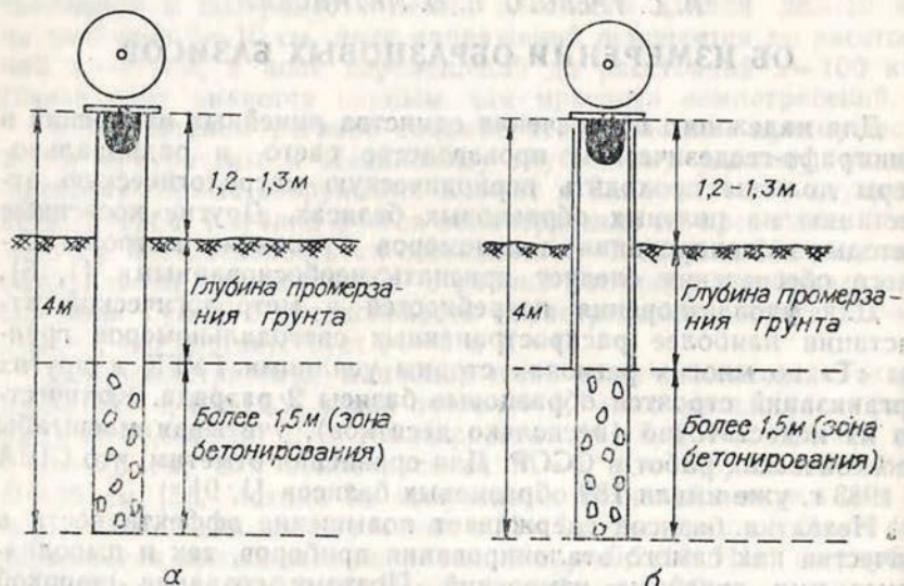
Для надежного обеспечения единства линейных измерений в топографо-геодезическом производстве свето- и радиодальномеры должны проходить периодическую метрологическую аттестацию на полевых образцовых базисах. Другие косвенные методы эталонирования дальномеров с позиции метрологического обеспечения следует признать необоснованными [1, 5].

Для удовлетворения потребностей в метрологической аттестации наиболее распространенных светодальномеров группы «Т» во многих регионах страны усилиями ГУГК и других организаций строятся образцовые базисы 2 разряда. Количество их недостаточно (несколько десятков), учитывая масштабы геодезических работ в СССР. Для сравнения отметим, что США к 1983 г. уже имели 189 образцовых базисов [1, 9].

Нехватка базисов сдерживает повышение эффективности и качества как самого эталонирования приборов, так и выполняемых ими линейных измерений. Поэтому создание широкой сети образцовых базисов, являющихся на местности хранителями единицы длины в течение определенного промежутка времени, имеет весьма важное общегосударственное значение. При этом важно, как и чем закреплять базисы, чтобы используемые знаки были устойчивыми, удобными в эксплуатации и упрощали процесс эталонирования при сравнительно невысокой стоимости их изготовления и закладки. Актуален и вопрос обеспечения необходимой точности измерений интервалов базиса, которые согласно «Локальной поверочной схеме для геодезических средств измерения длины» и действующим нормативным документам выполняются комплектом первоклассных инварных проволок и высокоточными светодальномерами.

Совершенствованию базисных измерений посвящены исследования, выполненные нами в течение ряда лет на экспериментальных образцовых базисах, заложенных во Львовской области с учетом рекомендаций [5, 6]. Один из базисов расположен на территории горного предприятия на ровной, защищенной от ветра местности с тыльной стороны длинных одноэтажных (в основном складских и административных) построек. Ориентировка север—юг. Точки базиса закреплены металлическими трубчатыми знаками (см. рисунок, а). Диаметр труб

менее 20 см, толщина стенок 5 мм. Верхняя часть знаков оборудована площадками для быстрой и удобной установки приборов. Отверстие для станового винта на площадке строго соответствует его диаметру. На этом первом экспериментальном базисе знаки заложены на глубине около 2 м, т. е. меньше, чем показано на рисунке, а, а бетонирование знаков выполнено на всю глубину закладки. Интервалы базиса ежегодно измерялись первоклассными инварными проволоками, инварными рулетка-



Одинарный (а) и двойной (б) трубчатые знаки базиса.

ми и контрольной линейкой. На данном экспериментальном базисе более 10 лет эталонируются светодальномеры и электронные тахеометры ЛПИ, горного предприятия, подразделений ГУГК и других организаций.

Все три экспериментальных базиса оборудованы «фазовыми участками» длиной 10 м для исследования циклической ошибки дальномера в период его эталонирования. Точки «фазового участка» также закреплены трубчатыми знаками. Интервалы между ними (в 1 м) можно удобно и быстро измерять контрольным метром, что позволяет исследовать устойчивость трубчатых знаков во времени. В табл. I приведены результаты измерений, выполненные за десятилетний промежуток времени.

В каждом цикле интервалы «фазового участка» измерялись дважды в прямом и дважды в обратном направлениях методом трех сдвигов. Допустимое расхождение трех измерений интервала 0,1 мм, как правило, легко выдерживалось. Средняя квадратическая ошибка, полученная по колебаниям значений интервалов в прямых и обратных измерениях, обычно 0,1 мм и

менее. Но эта точность получена по внутренней сходимости и не учитывает некоторых источников ошибок, например, ошибки установки в отверстия для станового винта марок-целиков, фиксирующих концы метровых интервалов. Детальный анализ показал, что реальная точность определения длины отрезка между смежными и несмежными знаками 0,2...0,3 мм.

Из табл. 1 видно, что расхождения метровых интервалов, полученных за многие годы, за редким исключением, составляют десятые доли миллиметров при смежных измерениях; максимальное изменение достигает 1,9 мм, а среднее — 1 мм. Практически подобные данные получены и для интервалов от 1—2 до 1—11 (см. табл. 1). Согласно РТМ [4] ошибка в длине базиса по абсолютной величине не должна превышать 2 мм. Если при этом еще принять во внимание частоту аттестации базиса, то можно сделать вывод о достаточной устойчивости трубчатых знаков и целесообразности их использования для закрепления образцовых базисов. Для улучшения стабильности трубчатых знаков их общая длина увеличена до 4 м, а способ закрепления проиллюстрирован на рисунке, а. Пространство в скважине вокруг знака от глубины промерзания до поверхности земли не бетонируется, а заполняется смесью песка и мелкого щебня. Такими знаками закреплен второй экспериментальный образцовый базис. Трубчатые знаки установлены в пробуренные скважины, что дешевле и быстрее закладки массивных железобетонных монолитов с рывем котлованов.

При измерении интервалов базиса в солнечную погоду возможна ошибка из-за крена трубчатых знаков под влиянием прямой солнечной радиации. Односторонний нагрев труб не ощущим, когда оба знака при измерении интервалов освещены солнцем. Если же один из них в тени, то ошибка в длине интервала возможна.

Мы исследовали этот источник ошибок. В ясную жаркую и солнечную погоду летом на протяжении 12 дней с 10 до 18 ч каждые 30 мин измеряли два метровых интервала с ориентированной север—юг. Первый между одинарным (см. рисунок, а) и двойным (см. рисунок, б) трубчатыми знаками, а второй между двумя двойными знаками. Предполагалось, что внутренняя труба двойного знака надежно защищена от прямой солнечной радиации. Расстояния определяли контрольной линейкой описаным выше способом. Кроме того, измеряли температуру воздуха психрометром, температуру линейки, а также температуру освещенной и теневой стенок трубы контактным электротермометром.

Из анализа измеренных отрезков, скорректированных поправками за компарирование и температуру линейки, следует, что изменения первого интервала в основном около 0,3 мм (максимальное отклонение 0,52 мм), а изменение второго интервала оказывается на уровне точности измерений — 0,1 мм. Средняя температура воздуха 22,6 °С, а разность температур стенок трубы 5 °С.

Результаты многолетних измерений интервалов «фазового участка» экспери

Номер	1978 г.	1979 г.	1980 г.	1982 г.	1983 г.
1	0 999,2	0 999,4	0 999,3	0 999,3	0 999,2
2	999,2 998,9	999,4 999,8	999,3 999,3	999,3 999,3	999,2 999,3
3	1998,1 1001,9	1998,2 1002,6	1998,6 1002,0	1998,6 1002,6	1998,5 1002,6
4	3000,0 998,7	3000,8 998,5	3000,6 998,5	3001,2 997,5	3001,1 997,8
5	3998,7 999,5	3999,3 998,6	3999,1 998,8	3998,7 999,3	3998,9 998,8
6	4998,2 1001,5	4997,9 1001,5	4997,9 1001,6	4998,0 1001,3	4997,7 1001,5
7	5999,7 998,3	5999,4 997,3	5999,5 997,0	5999,3 997,1	5999,2 997,0
8	6998,0 1003,0	6996,7 1003,0	6996,5 1003,6	6996,4 1003,1	6996,2 1003,6
9	8001,0 1000,8	7999,7 1001,6	8000,1 1001,7	7999,5 1001,1	7999,8 1001,6
10	9001,8 999,8	9001,3 999,7	9001,8 999,6	9000,6 999,5	9001,4 998,7
11	10001,6	100001,0	10001,4	10001,1	10000,1

Примечание: В каждом столбце слева приведены интервалы от 1-2 до 1-

Рассчитаем значение крена l одинарного трубчатого знака по формуле [3]

$$l = \alpha \frac{\Delta t + H^2}{2D},$$

где α — коэффициент линейного расширения материала; Δt — разность температур; H — высота знака над поверхностью земли; D — диаметр. Принимая $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$, $\Delta t = 5^\circ\text{C}$, $H = 120$ см, $D = 13$ см, получаем $l = 0,35$ мм, что вполне согласуется с экспериментальными данными. По некоторым данным в экстремальных условиях крен металлического трубчатого знака может достигать 1 мм.

Таким образом, для исключения короткопериодического влияния прямой солнечной радиации на устойчивость трубчатых знаков целесообразно их делать двойными (см. рисунок, б). Такие знаки использованы для закрепления третьего экспериментального образцового базиса.

При работе с инварными проволоками температуру t_n проволоки предполагают равной температуре t_b окружающего воздуха. Измеряют t_b , согласно [2], не реже чем через пять про-

Таблица 1

ментального образцового базиса контрольной линейкой, мм

1984 г.	1985 г.	1986 г.	1987 г.	Максимальные за 10 лет изменения интервалов, мм	
				метровых	остальных
0	0	0	0		
999,0	999,0	999,1	999,2	0,4	0,3
999,5	999,5	999,3	999,6		
1998,5	1998,5	1998,4	1998,8	1,0	1,1
3001,5	3001,5	3001,4	3001,8		
3998,9	3998,9	3999,0	3998,6	1,9	1,8
4997,6	4997,6	997,4	997,6		
5999,5	5999,5	5998,9	5999,0	0,8	0,7
6996,9	6996,9	997,4	997,8		
8000,6	8000,6	6996,3	6996,8	1,3	1,8
9001,8	9001,8	1001,2	1001,1		
10000,7	10000,7	998,9	998,9	0,7	1,2
		10000,0	10000,9		
			9999,9	1,1	1,7
				Cр. 1,0	Cр. 1,1

II, а справа — длины метровых интервалов.

летов. Но из литературных источников известно, что различие температур $\Delta t_n = t_n - t_b$ может быть существенным и в экстремальных условиях достигать 10°C (см. [8] и др.) и даже более, внося ошибки в результаты базисных измерений.

Для исследования дневного хода Δt_n летом в течение трех дней в ясную жаркую и солнечную погоду и двух дней в пасмурную погоду мы проводили периодические синхронные измерения t_b аспирационными психрометром и t_n термодатчиком, прикрепленным к инварионной проволоке, которая находилась в рабочем состоянии на базисе. Температура воздуха, измеряемая на высоте проволоки, в период эксперимента достигала 31°C . Ветер практически отсутствовал, изредка его скорость составляла $1 \dots 2 \text{ м/с}$. Ежедневно до начала измерений сравнивались показания психрометра и термодатчика в помещении. Как правило, расхождения температур, снятых с обоих приборов, не превышали $0,25^\circ\text{C}$.

Результаты измерений за один день приведены в табл. 2. В этот солнечный день часть времени проволока не подвергалась воздействию прямой солнечной радиации. Из табл. 2 видно, что температура проволоки всегда больше как на солнце, так и в тени и это наблюдалось во все дни эксперимента.

Максимальная разница Δt_n в солнечную погоду за весь период эксперимента составила $+12,5^{\circ}\text{C}$ при среднем значении $+5,1^{\circ}\text{C}$. При полуясной и пасмурной погоде эти значения соответственно $+3,8^{\circ}\text{C}$ и $+2,2^{\circ}\text{C}$, т. е. существенно меньше.

Неучет Δt_n носит систематический характер. Примем, согласно [7], коэффициент температурного расширения инвара $\alpha = -0,5 \cdot 10^{-6}$ и подсчитаем систематическую ошибку δ_1 на один пролет при солнечной погоде, считая $t_b = 25^{\circ}\text{C}$ и $t_n = 30^{\circ}\text{C}$

$$\delta_1 = \alpha \cdot l \cdot \Delta t_n = 0,5 \cdot 10^{-6} \cdot 24000 \cdot 5 = 60 \text{ мкм.}$$

В итоге в безветренную солнечную погоду на 1 км длины образцового базиса может приходиться систематическая ошиб-

Таблица 2

Дневные результаты измерения температур воздуха t_b и инварной проволоки t_n в солнечную погоду

Время суток	t_b , $^{\circ}\text{C}$	t_n , $^{\circ}\text{C}$	Δt_n , $^{\circ}\text{C}$
9.40	25	25,7	+0,7
10.10	25,3	26,6	+1,3
10.30	22,1	27,1	+5,0
11.00	24,6	28,2	+3,6
11.30	25,7	30,2	+4,5
12.00	25,0	34,7	+9,7
12.30	26,9	30,6	+3,7
13.00	27,0	32,7	+5,7
13.30	27,4	32,6	+5,2
14.00	27,6	33,6	+6,0
14.30	28,2	34,0	+5,8
15.00	28,4	36,4	+8,0
15.30	28,7	32,0	+3,3
16.00	28,7	32,6	+3,9
16.30	30,8	32,0	+1,2
17.00	28,9	31,0	+2,1
17.30	28,8	30,0	+1,2
18.00	28,8	30,0	+1,2

Примечание. До 10 ч 30 мин и после 16 ч проволока находится в тени.

ка в 2,5 мм, которой нельзя пренебречь. Конечно, в переменную или пасмурную, и, надо полагать, в ветреную погоду эта ошибка безусловно уменьшится, но все же останется систематической.

Нам представляется, что для обеспечения требуемой точности измерения образцовых базисов инварными проволоками их температуру целесообразно определять термодатчиками.

Согласно разработанным инструкциям, образцовый базис полагается измерять инварными проволоками и высокоточным светодальномером. При измерении интервалов базиса светодальномером важно учесть, что при использовании подставок возникает случайная ошибка, вызванная несоосностью верти-

кальной оси дальномера и станового винта. По нашим исследованиям, она может быть существенной (иногда до 1 мм), поэтому необходим тщательный подбор подставок. Кроме того, при установке подставок на площадке знака их зажимные винты следует располагать перпендикулярно оси базиса.

1. Генике А. А., Наумов Я. В. Проблемы метрологического обеспечения геодезических средств и методов измерений // Геодезия и картография. 1969. № 11. С. 27—31. 2. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР // Тр. Геодезиздат. 1961. С. 459. 3. Лобов М. И. Особенности изучения динамического состояния сооружений на подрабатываемых территориях // Геодезия и фотограмметрия в горном деле. Свердловск. 1986. С. 39—46. 4. РТМ 68—8.12—85. Общие технические требования к образцовым базисам для контроля геодезических дальномеров. — Введ. 01.01.85. 5. Тревого И. С., Шевчук П. М. Городская полигонометрия. М., 1986. 6. Тревого И. С. Об эталонировании топографических дальномеров // Геодезия и картография. 1987. № 1. С. 20—25. 7. Шерман Д. С. Руководство по камеральной обработке базисов 1,2 и 3 классов. М., 1961. 8. Angus-Leppan. P. V. Then Temperature on an Invar Wire under Radiation // Sucmen geod. laitok-julk. 1979. № 89. С. 7—15. 9. Yorczik R. A. The National Geodetic Surveys EDMI calibration base line program // ASP—ACSM Convention. Washington, 1986. Р. 32—41.