

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СООРУЖЕНИЙ
ВЫСОКОТОЧНЫМ НИВЕЛИРОВАНИЕМ
И ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ**

**Михайлов В.И., канд. геод. наук, доцент,
Скребков Г.В.**

*Белорусский национальный технический университет,
ОАО «Гродно Азот»
(г. Минск, г. Гродно, Республика Беларусь)*

Введение

В настоящее время наиболее распространенный метод геодезических измерений вертикальных перемещений сооружений – прецизионное геометрическое нивелирование с использованием инварных реек. Применение тригонометрического нивелирования коротким лучом с использованием точного электронного тахеометра может успешно конкурировать с геометрическим нивелированием.

Содержание

В качестве экспериментальных измерений на вытяжной трубе высотой 119 м котельной ОАО «Гродно Азот» выполнено два цикла наблюдений за вертикальными перемещениями девяти осадочных марок с применением электронного тахеометра Sokkia SET3130. Он характеризуется средней квадратической погрешностью измерения углов – 3"; точностью измерения расстояний на пленку и без призмы $\pm(3+2 \text{ ppm} \times D)$ мм.

Измерения выполнялись одним приемом при двух положениях вертикального круга по визирной цели на отражающей пленке, закрепленной на масштабной линейке на высоте 0,0342 метра. Высота визирной цели в течение двух циклов не изменялась. Измерение высот станций прибора не выполнялись, так как применялся метод двухстороннего тригонометрического нивелирования коротким лучом. Поэтому в расчетах по оценке точности превышений погрешности за высоты станций и визирных целей можно исключить.

Наблюдения проводились в условиях вибрации, создаваемыми генераторными установками и работающими прессами в ближайших производственных корпусах.

Конструкция осадочных марок на данном объекте представлена двумя разными типами – марки 1–6 сделаны из металлического уголка, а 7–9 имеют более оптимальную цилиндрическую форму.

Вычисление превышений и уравнивание отметок марок выполнялось в программном комплексе «CREDO DAT». Для контроля и сравнения все превышения вычислены на калькуляторе с составлением схемы измерений с вычислением невязок. Для всех измерений электронным тахеометром произведен также контроль места зенита. В первом цикле его среднее значение оказалось равным $MZ=89^{\circ}59'49,5''$, во втором – $MZ=89^{\circ}59'48,0''$. Максимальное отклонение от среднего значения составляет $2,5''$.

Для дополнительного контроля был также проведен анализ двойных измерений между марками 7 и 8, полученных с разных станций. Первое измерение превышений выполнено с неравенством плеч в 11 м и оно оказалось равным 0,1003 м, а второе из середины с результатом 0,1001 м. Расхождение между полученными значениями составляет всего 0,0002 м. Максимальное расстояние до марок равнялось 30 м, а минимальное – 3 м. Более 90 % измерений выполнено при расстояниях менее 20 м до наблюдаемых марок.

Уравненные отметки осадочных марок по циклам измерений электронным тахеометром и их разности приведены в таблице 1.

Таблица 1

	Отметки марок, м	Отметки марок, м	Разность отметок между циклами
Номер пункта	Цикл №1 26.09.2009	Цикл №2 19.02.2010	
1	2	3	4
RP	163,6910	163,6910	-
M1	165,1015	165,1013	+0,0002
M2	165,1999	165,2005	-0,0006
M3	165,2049	165,2052	-0,0003
M4	165,2320	165,2320	0,0000
M5	165,1129	165,1129	0,0000
M6	165,1203	165,1204	-0,0001

Окончание таблицы 1

1	2	3	4
M7	163,9551	163,9554	-0,0003
M8	164,0552	164,0555	-0,0003
M9	164,0508	164,0507	+0,0001

На вытяжной трубе котельной и на многих других объектах ОАО «Гродно Азот» производятся постоянные периодические геодезические наблюдения за вертикальными перемещениями осадочных марок как компенсаторным нивелиром Konі 007, так и цифровым нивелиром DNA03. Поэтому есть возможность сравнить и провести анализ результатов измерений, полученных из тригонометрического нивелирования электронным тахеометром Sokkia SET3130 и геометрического нивелирования II класса нивелиром Konі007. Результаты высокоточного нивелирования двумя методами приведены в таблице 2.

Таблица 2

	Отметки марок, м	Отметки марок, м	Разность отметок между циклами
Номер пункта	Цикл №1 26.09.2009 Тригонометрическое нивелирование	Цикл №2 19.02.2010 Геометрическое нивелирование	
RP	163,6910	163,6910	-
M1	165,1015	165,0998	+0,0017
M2	165,1999	165,1987	+0,0012
M3	165,2049	165,2043	+0,0006
M4	165,2320	165,2310	+0,0010
M5	165,1129	165,1114	+0,0015
M6	165,1203	165,1199	+0,0004
M7	163,9551	163,9553	-0,0002
M8	164,0552	164,0554	-0,0002
M9	164,0508	164,0509	-0,0001

Как следует из таблицы 2, измерения на марки (M7, M8, M9) с цилиндрической головкой имеют расхождения в отметках меньше, чем на марках из металлических уголков. Это объясняется тем, что

установка инварных реек и отражающей пленки на марки первого типа происходит более оптимально, чем на марки из уголков.

Основные источники погрешностей по данной методике двухстороннего тригонометрического нивелирования электронным тахеометром – это погрешности измерения вертикального угла m_v и расстояния m_d . Погрешности за высоту визирной цели исключались, так как она не изменялась в процессе измерений.

Среднюю квадратическую погрешность определения превышений электронным тахеометром Sokkia SET3130 можно вычислить по формуле

$$m_h^2 = m_d^2 \sin^2 \nu + \frac{m_v^2}{\rho^2} \cos^2 \nu,$$

где $\rho = 206265''$,

$$m_d = 3 \text{ мм},$$

$$m_v = 3'' ,$$

$$\nu = 5^\circ ,$$

$$D=20 \text{ м}.$$

Согласно приведенным значениям, получаем $m_h = 0,39 \text{ мм}$.

Применение более точного тахеометра, например Leica TCR1201, может повысить точность тригонометрического нивелирования. Принимая во внимание, что значения для данного тахеометра будут $m_d = 2 \text{ мм}$, $m_v = 1''$, то получаем $m_h = 0,20 \text{ мм}$.

Таким образом, точность тригонометрического нивелирования такими тахеометрами с использованием предлагаемой методики измерений может удовлетворить требования при проведении геодезических измерений вертикальных перемещений ряда промышленных и гражданских сооружений (производственных зданий, башенных сооружений, мостов и т.п.).

Заключение

В заключение следует отметить, что выполненные экспериментальные измерения и их анализ позволяют сделать некоторые выводы о преимуществах данной методики.

1. Возможность выполнять наблюдения одним исполнителем, если заложены осадочные марки с отверстием (1,5 – 2 мм) в ее

торце. Измерения можно выполнять точно на центр отверстия или вставлять в нее небольшую подвесную визирную цель в виде отражающей пленки.

2. Отмечается более высокая производительность, особенно при больших перепадах высот до осадочных марок и преимущество в наблюдениях за большим количеством марок с одной станции.

3. Отпадает необходимость использовать для измерений и производить поверки инварных реек.

4. Можно полностью автоматизировать процесс вычислений отметок осадочных марок, при наличии соответствующего программного обеспечения.

Можно также отметить следующие недостатки предлагаемого метода.

1. При измерениях необходимо более строгое соблюдение расстояний до наблюдаемых марок (не более 20 м).

2. Применение только высокоточных тахеометров (точность измерения углов 1–3").

3. Тригонометрическое нивелирование определения превышений электронным тахеометром характеризуется меньшей точностью, чем при прецизионном нивелировании.

УДК 625

КАФЕДРА «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОРОГ» К 90-ЛЕТИЮ БНТУ

Мытько Л.Р., канд. техн. наук, доцент

*Белорусский национальный технический университет
(г. Минск, Республика Беларусь)*

Кафедра «Проектирование дорог» была создана в 1978 году в результате разделения кафедры «Дорожное строительство» на две кафедры: «Проектирование дорог» и «Строительство и эксплуатация дорог». Первым заведующим кафедрой был канд. техн. наук, доцент Куделко Михаил Яковлевич (1978 – 1983г.). В дальнейшем кафедрой руководили: канд. техн. наук, доцент Яцевич Иван Климентьевич (1983 – 2005 год), д-р техн. наук, профессор Веренько Влади-