

ИЗМЕРЕНИЕ ОСАДОК ЗДАНИИ И СООРУЖЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ТАХЕОМЕТРАМИ

АЛ. Ворошилов

Рассмотрено применение электронных тахеометров для измерения осадок зданий и сооружений. Выполнен расчет точностных характеристик и допусков на параметры таких измерений. Рекомендуются специальные осадочные марки для измерений осадок безотражательными тахеометрами.

Измерение осадок оснований и сооружений проводится с точностью 1; 2; 5 и 10 мм в зависимости от грунтов, расчетных величин осадок, уникальности и времени эксплуатации зданий и сооружений [1]. Высокие требования к точности достигались геометрическим нивелированием с применением высокоточных нивелиров и инварных реек. Широкое распространение в инженерно-геодезических работах электронных тахеометров, обеспечивающих быстроту, автоматизацию и достаточную точность измерений расширяет возможности тригонометрического нивелирования. А появление безотражательных тахеометров с погрешностями $m_z = 1...3''$, $m_S = 1...4$ мм и меньше способствует их применению в контроле за осадками. Для измерения осадок электронными тахеометрами необходим расчет точности и анализ технологии таких работ.

Метод тригонометрического нивелирования, в том числе электронными тахеометрами, может обеспечить высокую точность лишь при определенных условиях. Автором было показано, что точность определения осадок в 1 и 2 мм можно обеспечить таким нивелированием способом «из середины» короткими лучами [2]. Поэтому ограничимся рассмотрением этого способа.

Превышение h_{ij} между двумя осадочными марками объекта определяется в способе «из середины» по формуле

$$h_{ij} = (S_j \cos z_j - S_i \cos z_i) + (l_j - l_i) + (v_i - v_j) + \frac{(1 - k_j) \cdot S_j^2}{2 \cdot R \sin^2 z_j} - \frac{(1 - k_i) \cdot S_i^2}{2 \cdot R \sin^2 z_i}, \quad (1)$$

где S_j, S_i - измеренное со станции 1 наклонное расстояние до марок с номерами j и i ; z_j, z_i - измеренные зенитные расстояния, соответствующие значениям S_j и S_i ; l_j, l_i - высота прибора при визировании на марки j и i ; v_i, v_j - высоты наведения на эти марки; k_j, k_i - коэффициенты вертикальной рефракции.

Обеспечение точности в 1 и 2 мм требует высокоточных измерений не только вертикальных

углов z и расстояний S , но и высот прибора, что существенно осложняет методику наблюдений. Но при стабильности высотного положения тахеометра на станции измерения l не требуются, так как будет выполнено условие $l_j = l_i$. Для этого достаточно надежная установка штатива и тахеометра на станции, а при измерениях рекомендуется применять выносную клавиатуру, что исключит подвижки прибора при нажатии его клавиш. В формуле (1) обеспечивается $v_i = v_j$, если визирование проводить непосредственно на марку или на один и тот же штрих, установленной на ней рейки. Кроме того, расчеты показывают, что при малых расстояниях можно принять $k_j = k_i$. Так, в самых неблагоприятных условиях, характеризующихся изменением коэффициента вертикальной рефракции в максимальных пределах (0,14...0,20) и неравенстве плеч в 20 м, влияние вертикальной рефракции на превышение h_{ij} не превысит 0,03 мм.

При обеспечении указанных условий ($l_j = l_i$, $v_i = v_j$, $k_j = k_i$) формулу (1) можно записать в виде

$$h_{ij} = S_j \cos z_j - S_i \cos z_i, \quad (2)$$

тогда СКП превышения на станции определяется выражением

$$m_h^2 = 2m_S^2 \cos^2 z + 2(S/\rho \sin z)^2 m_z^2, \quad (3)$$

где S - измеренное тахеометром расстояние до марки; m_S - средняя квадратическая погрешность (СКП) этого расстояния; z - измеренный зенитный угол; m_z - его СКП; $\rho = 206265''$.

Измерение каждой осадки выполняется в два цикла при и стоянках прибора, поэтому СКП определения осадки можно оценить по формуле

$$m_{oc} = m_h \sqrt{2n}, \quad (4)$$

где m_h - СКП превышения, n - число станций в нивелирном ходе.

В соответствии с указанными требованиями к точности определения осадок вычислены ограничения на средние квадратические погрешности измерения превышений m_h на каждой станции тахеометра, представленные в табл. 1.

Таблица 1
Ограничения на погрешности

n	m _{ос} , мм			
	1	2	5	10
1	0,71	1,41	3,54	7,1
5	0,32	0,63	1,58	3,2
10	0,22	0,44	1,12	2,2

В табл. 2 вычислены по формулам (3) и (4) СКП измерения превышений и осадки конкретных типов тахеометров SET, которые они обеспечивают при $S \leq 25$ м и $z \geq 87^\circ$. В соответствии с полученными данными измерение осадки в 1 мм возможно лишь тахеометром SET 230R при очень малом n . Измерение осадки в 2 мм может быть выполнено любым из рассмотренных приборов, но при количестве станций в ходах, не превышающих указанных в табл. 2. Следует отметить, что осадки в 1 мм могут быть измерены новым тахеометром SOKKIA NET1200. Для него при аналогичных условиях обеспечиваются СКП превышений 0,2 мм.

Таблица 2
Погрешности тахеометров

Тахеометр	СКП, мм		Доп. n
	m _h	m _{ос}	
SET 230R	0,41	0,6	11
SET 330R	0,56	0,8	6
SET530R	0,88	1,2	3

При использовании безотражательных тахеометров для измерений осадок рекомендуется новый тип марок. Такая марка должна иметь четкое изображение точки или геометрической фигуры (ромба, треугольника или концентрических окружностей) для однозначного наведения на них центра сетки нитей прибора во всех циклах наблюдений. Кроме того, она должна быть достаточно рефлекторной, без шероховатостей для отражения дальнометрического сигнала. В качестве таких марок можно использовать замаркированные детали строительных конструкций или специальные металлические марки (5x5 см), жестко закрепленные на наблюдаемом объекте. На марки нанесена четкая геометрическая фигура с светлым центром для лучшего отражения сигнала. Проведенные опытные измерения свидетельствуют, что на расстояниях до 50 м диаметр лазерного луча в безотражательном режиме не превышает 5 мм в тахеометрах SET и 15 мм в тахеометрах TS 3305DR. Поэтому светлый центр марки достаточно нанести диаметром 2 см.

Предлагаемые осадочные марки не выступают из строительных конструкций, поэтому их сохранность ожидается выше, чем традиционных, используемых при геометрическом нивелировании для установки на них инварных реек.

Высоту закладки марок в стены здания определяет угол z при их наблюдении. Учитывая, что высокую точность измерений превышений на станции можно обеспечить лишь при углах z ,

близких к 90° , следует ограничить высоту закладки марок. Допустимое превышение марки над станцией можно оценить по формуле:

$$h_M = l + S \sin v, \quad (5)$$

где l - высота прибора; S - расстояние от станции до марки; v - угол наклона при визировании на марку.

Так, для электронных тахеометров точность измерения осадки в 1 мм можно получить, если h_M не превысит 2 м. Используя отметки станций и отмыски возле здания, вычисляется высота закладки марок в стены. При этом следует учитывать, что высокое расположение марок дополнительно снизит точность расстояний, измеренных безотражательным дальномером, так как визирование будет проводиться под острым углом к марке.

Допустимые длины плеч тригонометрического нивелирования из середины можно оценить по формулам (3) и (4). Фрагмент такой оценки приведен в таблице 3 для СКП измерения осадок ($m_{ос}$) в 1; 2 и 5 мм при условии $m_S = 3$ мм; $n = 5$. Значения m_Z в табл. 3 соответствуют точности тахеометров SET.

Таблица 3
Допустимые длины плеч, м

z	m _Z	m _{ос} , мм		
		1	2	3
88°	2"	20,7	44,7	115
	3	13,8	29,8	77
	5	8,2	17,9	46
87°	2	17,2	43,2	114
	3	11,5	28,8	76
	5	6,9	17,3	46
85°	2	—	37,3	112
	3	—	24,8	75
	5	—	14,9	45

Данные табл. 3 свидетельствуют, что при проектировании измерений осадок на длины плеч и углы z необходимо наложить существенные ограничения, особенно при требованиях $m_{ос}$ в 1 и 2 мм. При близком расположении станций от плоскости закрепления марок увеличится количество станций в ходах, а визирование будет проводиться под острым углом в горизонтальном направлении, что может привести к снижению точности измерения осадок.

Для обеспечения высокой точности измерений зенитных расстояний необходимо регулярно контролировать значение MZ , а измерения на каждой станции проводить несколькими приемами.

При измерении расстояний до марок следует учитывать в циклах поправки за метеоусловия и не применять визирования под острым углом.

Обработка измерений в каждом цикле включает: вычисления превышений по формуле (2) между связующими марками, вычисление средних превышений по приемам, контроль по невязкам,

уравнивание, вычисление отметок связующих и промежуточных точек. Для обеспечения миллиметровой точности в вычислениях должны сохраняться знаки до 0,1 мм. Если в тахеометре в вычислениях превышений и на дисплее сохраняются только миллиметры, то в память прибора необходимо записать измеренные S и Z , а в постобработке на ПК сохранить требуемое число знаков.

При соблюдении указанных требований будет обеспечена необходимая точность измерения осадок электронными тахеометрами.

Такие измерения по сравнению с геометрическим нивелированием будут иметь ряд преимуществ:

- не требуется установки рейки на осадочные марки, что часто опасно или невозможно в условиях строительной площадки и действующего промышленного производства;
- измерения выполняются одним исполнителем;

- процесс измерений и обработки автоматизирован;

- марки для установок рейки выступают из строительных конструкций, поэтому часто уничтожаются или повреждаются, в результате информативность контроля за осадками ухудшается; электронный тахеометр не требует таких марок.

Литература

1. ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерений деформаций оснований и сооружений. - М.: Изв-во стандартов, 1982. - 36 с.

2. Ворошилов А.П. Особенности тригонометрического нивелирования коротким лучем при маркшейдерских наблюдениях за осадками// Проблемы повышения эффективности маркшейдерских работ на горных предприятиях: Сб. науч. тр. - Свердловск, 1989. - С. 22-26.