

УДК 528.482

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СООРУЖЕНИЯ

*Г.Г. Шевченко, Д.А. Гура, Ч.Н. Желтко*

Рассматривается способ проведения геодезического мониторинга строящихся сооружений электронным тахеометром без закрепления станций наблюдения.

*Ключевые слова:* мониторинг; трехмерные координаты; метод наименьших квадратов; поисковый способ уравнивания.

---

## ON DETERMINING THE COORDINATES OF THE POINTS BY AN ELECTRONIC TACHOMETER FOR MONITORING THE STRUCTURE

*G.G. Shevchenko, D.A. Gura, Ch.N. Zheltko*

There is considered the method of carrying out geodetic monitoring the structures being built by electronic tachometer without fixing the stations of observation.

*Keywords:* monitoring; three-dimensional coordinates; method of least squares; search method of equalizing.

Работы по мониторингу сооружения нередко выполняют в период его строительства и эксплуатации. Для этого, как правило, определяют координаты марок, закреплённых на сооружении. Координаты определяют по одной, двум или всем трём осям [1]. При этом измерения от цикла к циклу выполняют с одних и тех же точек (станций наблюдений), что не всегда возможно на строительной площадке: закреплённые на местности точки нередко уничтожаются строительной техникой, или закрываются строительными материалами или конструкциями.

Опыт проведения подобных работ на строительной площадке показывает, что есть немало оснований отойти от традиционных способов измерений и их обработки, не снижая точности конечного результата или даже повышая его точность [2–6]. Ниже приведены рекомендации для проведения мониторинга в общем виде. Во многих случаях измерения можно делать проще.

Станции наблюдений можно не закреплять на местности, и в каждом новом цикле выбирать новые точки [7]. Координаты станций, как и координаты других точек, определяют из совместного уравнивания всех измерений. Измерения делают электронным тахеометром путём наведения на точки и записи горизонтальных, вертикальных углов и расстояний.

В общем случае, если проводят мониторинг сооружения по всем трём осям, и используют для

измерений электронный тахеометр, в районе работ закрепляют четыре вида точек:

1. Опорные пункты, координаты которых в первом цикле определяют, а в последующих циклах считают неизменными. Не исключено уточнение их координат на основе измерений во 2-м цикле, и, может быть, и в 3-м цикле. Это 2–3 точки, закреплённые в наиболее стабильных местах.

2. Исходные пункты, которые, как и опорные точки, имеют координаты, но они уточняются в каждом цикле наблюдений. Это точки, закреплённые в менее стабильных местах, поэтому их координаты могут изменяться вследствие нестабильности их положения. Исходные пункты можно называть опорными пунктами 2-го уровня.

3. Связующие точки, служащие для дополнительной связи между собой станций наблюдений.

4. Определяемые точки (деформационные марки), закреплённые по периметру исследуемого сооружения.

В качестве точек для всех 4-х видов можно использовать светоотражающие марки, наклеиваемые в нужных местах, и обеспечивающие во много раз больший уровень отражённого лазерного луча при измерении расстояний в направлении на тахеометр, чем при отражении от других случайных объектов. Тем самым они обеспечивают измерения расстояний в безотражательном режиме на гораздо более длинные дистанции, чем в других случаях.

Измерения на все четыре вида точек выполняются одинаково. Измеряют горизонтальный, вертикальный углы и расстояние. Иногда расстояние невозможно измерить из-за острого угла между плоскостью марки и визирным лучом. В этом случае в обработку идут только 2 измеренных угла и проблем не возникает.

Обработку измерений выполняют по методу наименьших квадратов поисковым способом [8, 9]. В нём уравненные значения находит ЭВМ путём последовательного подбора неизвестных. Для составления начальных уравнений используют формулу

$$l_{\text{выч}} - l_{\text{изм}} = v, \quad (1)$$

где  $l_{\text{выч}}$  – вычисленные по предварительным (изменяемым при уравнивании) координатам те же элементы – углы и расстояния, которые измерены;  $l_{\text{изм}}$  – измеренные значения;  $v$  – поправки в измерения, минимум суммы квадратов которых с учётом весов  $p$ , найденных по (3), подбирает ЭВМ.

Значения  $l_{\text{выч}}$  в (1) вычисляет ЭВМ по известным формулам, автоматически выбирая из таблицы координаты двух точек – станции наблюдения и измеряемой точки по их обозначениям в таблице измерений.

При поиске минимума указывают в программе целевую ячейку и изменяемые ячейки. В целевой ячейке подсчитывается текущая сумма  $[pv]$ , а изменяемые ячейки указываются по-разному, в зависимости от решаемой задачи.

В первом цикле измерений в таблицу вводят предварительные координаты всех точек и изменяемыми ячейками являются все строки таблицы. Во втором цикле координаты опорных пунктов не изменяют. Если предусмотрено уточнить их координаты, то после уравнивания запускают еще раз поиск минимума, изменяя только координаты опорных пунктов. Затем находят средние координаты опорных пунктов из двух циклов.

Определяют координаты исходных пунктов в каждом цикле. Но дополнительно при поиске минимума вводят в сумму  $[pv]$  квадраты разностей координат с учётом веса этого пункта:

$$\begin{aligned} (X_{\text{выч}} - X_{\text{исх}}) + (Y_{\text{выч}} - Y_{\text{исх}}) + \\ + (H_{\text{выч}} - H_{\text{исх}}) = v, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $X_{\text{выч}}, Y_{\text{выч}}, H_{\text{выч}}$  – вычисляемые при уравнивании текущие координаты исходных пунктов;  $X_{\text{исх}}, Y_{\text{исх}}, H_{\text{исх}}$  – координаты исходных пунктов, взятые из предыдущего цикла или средние из нескольких предыдущих циклов.

Вес  $p$  для уравнения (2) подбирается субъективно. Используется известная формула

$$p = \frac{c}{m^2}, \quad (3)$$

где  $c$  – тот же коэффициент, который используется для нахождения весов измеренных углов и расстояний;  $m$  – ожидаемое среднее квадратическое отклонение положения исходного пункта вследствие его нестабильности. Например, если исходный пункт закреплён на столбе, который может качаться от ветра в пределах 1 см, то можно принять  $m = 2 \div 3$  мм. Последнюю величину следует несколько увеличить за счёт погрешностей исходных координат этого пункта.

Подобным образом можно учитывать погрешности исходных данных или нестабильности и для опорных пунктов. Для них величина  $m$  в (3) меньше, чем для исходных пунктов. В пределе для идеального опорного пункта  $m = 0$ , поэтому  $p = \infty$ , и поправка  $v$  в формуле (2) получится после уравнивания, равном нулю. Это означает, что уравненные координаты опорных пунктов равны их начальным значениям. И это эквивалентно традиционному случаю, когда координаты опорных пунктов неизменны при уравнивании.

Связующие точки закрепляют в том случае, когда между станциями наблюдений недостаточно общих точек. Их должно быть не менее двух, но лучше три и больше. Общие точки значительно улучшают обусловленность уравнений и повышают точность конечного результата за счёт увеличения числа  $r$  избыточных измерений, равного разности числа измерений  $n$  и числа неизвестных  $k$ . Одна связующая точка, измеренная с двух станций, даёт 6 дополнительных измерений при трех дополнительных неизвестных координатах этой точки. В результате имеем  $r = n - k = 3$  избыточных измерений. При этом нужно учесть, что три измерения тахеометром на точку делаются быстро и просто – наводят перекрестием сетки на точку и нажимают кнопку измерений.

Связующими точками могут служить дополнительно закреплённые на исследуемом сооружении определяемые точки. Но иногда это не удаётся сделать, потому что условия выбора связующих и определяемых точек разные. Связующую точку можно закрепить на соседнем здании, ограждении, столбе или даже на штативе так, чтобы она была видна с нескольких станций. Связующие точки чаще являются временными, используемыми только для данного цикла.

Не следует экономить на числе определяемых точек, закрепляемых на сооружении – точки нередко теряются по разным причинам, а лишние точки, незначительно увеличивая объём измерений и вычислений, увеличивают число избыточных измерений, если оптимально выбрать станции наблюдений и измерять все видимые со станции марки. При этом станции непосредственно не увязываются между собой.

Представляет интерес одновременная работа двумя тахеометрами. Визируя «труба в трубу» [10], увязываются между собой две соседние станции без закрепления точек на местности. Переставляя поочередно два тахеометра со станции на станцию, фактически прокладывается высотно-теодолитный ход, который можно замкнуть. Все измерения по сторонам хода являются избыточными, и они могут заменить измерения на связующих точках.

#### Литература

1. *Дзакаев А.Х.* Особенности организации геодезического мониторинга за деформациями здания / А.Х. Дзакаев, Э.И. Ибрагимов, И.Г. Гайрабеков // В сб.: Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: Матер. II Всерос. научно-техн. конф. Грозный, 2012. С. 438–441.
2. *Куприянов А.О.* Мониторинг технического состояния высотных зданий с применением современных методов / А.О. Куприянов, М.В. Максимова // Славянский форум. 2015. № 2 (8). С. 153–167.
3. *Авхадеев В.Г.* Современные возможности и методы обнаружения критических деформаций инженерных сооружений / В.Г. Авхадеев, А.А. Майоров, П.И. Савостин, К.С. Федоров, С.С. Мясников // Экспозиция Нефть Газ. Набережные Челны. 2013. № 4(29). С. 46–48.
4. *Желтко Ч.Н.* Измерения геометрии высоких стальных трёхгранных сооружений / Ч.Н. Желтко, Д.А. Гура, Г.Г. Аветисян // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2010. № 6. С. 13–19.
5. *Кузнецова А.А.* Анализ полученных данных методом лазерного сканирования для выполнения периодического мониторинга на примере здания расположенного в г. Краснодаре / А.А. Кузнецова, Т.Э. Алкачев, Д.А. Гура // Электр. сетевой политематич. журнал «Научные труды КубГТУ». Краснодар: КубГТУ, 2014. № 4. С. 20.
6. *Шевченко Г.Г.* Определение крена инженерного сооружения с использованием безотражательного тахеометра / Г.Г. Шевченко, Д.А. Гура, Ч.Н. Желтко // В сб.: Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: Матер. III научно-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Волгоград, 2009. С. 147–149.
7. *Шевченко Г.Г.* Метод определения смещений и осадок сооружений с учётом особенностей работ на строительной площадке / Г.Г. Шевченко, Ч.Н. Желтко, Д.А. Гура, М.А. Пастухов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. №11. С. 29–30.
8. *Шевченко Г.Г.* Определение смещений и осадок сооружений с использованием поискового метода уравнивания / Г.Г. Шевченко, Ч.Н. Желтко, Д.А. Гура, М.А. Пастухов // Новый университет (научн. журн.). Серия: Технические науки. Йошкар-Ола. 2013. № 7 (17). С. 37–40.
9. *Желтко Ч.Н.* Алгоритм определения координат при мониторинге сооружений с использованием поискового метода уравнивания / Ч.Н. Желтко, Г.Г. Шевченко, Д.А. Гура, А.А. Кузнецова // Наука. Техника. Технологии (политехн. вестник). Краснодар. 2013. №3. С. 60–64.
10. *Zheltko CH.N.* Experimental investigations of the errors of measurements of horizontal angles by means of electronic tacheometers./ CH.N. Zheltko, D.A. Gura, G.G. Shevchenko, S.G. Berdzenishvili // Measurement techniques. Springer New York Consultants Bureau. 2014. T.57. № 3. P. 277–279.